



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Modelo de equilibrio general aplicado para la evaluación de política de cambio climático en Colombia

Jurley Sosa Camacho

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas, Maestría en ciencias económicas
Bogotá D.C., Colombia
2015

Modelo de equilibrio general aplicado para la evaluación de política de cambio climático en Colombia

Jurley Sosa Camacho

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Económicas

Director (a):
PhD (c) Javier Sabogal
Codirector (a):
PhD Marco Missaglia

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas, Maestría en ciencias económicas
Bogotá D.C., Colombia
2015

Mi vida ha estado siempre bajo la guía de Dios y mi familia, es a ellos a quien debo y agradezco profundamente cada logro académico, personal y profesional.

Agradecimientos

La Universidad Nacional de Colombia y en particular la Facultad de Ciencias Económicas dispusieron para mí, herramientas y espacios a partir de los cuales logré desarrollar un trabajo que recoge mi preocupación por un problema específico así como la posibilidad de presentar un aporte a la solución del mismo. Asimismo debo agradecer al Grupo de Trabajo Interdisciplinar en Cambio Climático por permitirme pertenecer a ese espacio en el que las discusiones fueron sumamente importantes para el desarrollo de mi tesis.

Agradezco también a mis directores por el acompañamiento y los valiosos aportes para el desarrollo de este documento y de habilidades investigativas.

Resumen

En Colombia no se cuenta, hasta ahora, con un ejercicio de evaluación económica de los costos de implementación de políticas de mitigación del cambio climático, para esto utiliza como herramienta un modelo de equilibrio general aplicado, que usa como input la matriz de contabilidad social y los niveles de emisiones de gases efecto invernadero, que permite medir los impactos en términos de producto interno bruto, niveles de actividad por sector, demanda de factores (trabajo y capital) así como el gasto del gobierno.

Para una economía como la colombiana no es recomendable establecer políticas de cambio climático inmediatamente, considerando que una reducción del 5% en las emisiones de GEI implica una reducción 19.8% del PIB, lo que muestra que aunque el país es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático y por lo que se necesitan acciones en el corto plazo, se requieren acciones previas como cambio tecnológico que disminuya el nivel de emisiones antes de fijar medidas que establezcan límites a las emisiones.

Palabras clave: Equilibrio general Computable, Desarrollo Económico, Cambio Climático, Análisis de política climática.

Abstract

In Colombia is not available, until now, with an analytical exercise for the economic evaluation of the costs of implementing climate change policies, this requires a tool like an applied general equilibrium model, that use as input the social accounting matrix and the green house emission levels, this is useful to gauge in different levels the impacts over the economy such as gross domestic product, activity levels by sector, factor demand (labor and capital) and also government spending.

For one economy as Colombian is not possible to establish climate change policies immediately, considering for example a 5% reduction over emission levels implies for the whole economy a -19.8% of the GDP/per year, this shows that although Colombia is highly vulnerable to the climate change effects and is a need to take immediate action, prior actions like technological change that will be useful in the emission reductions instead of implementing those policies over the emission levels.

Keywords: Computable general equilibrium, Development, Climate Change, Climate policy analysis.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras.....	X
Lista de tablas	XI
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XII
Introducción	1
1. Marco teórico y estado del arte.....	3
2. Modelo para la evaluación de política de cambio climático.....	59
3. Conclusiones y recomendaciones.....	74
Referencias.....	91

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Concentraciones de CO ₂ y temperatura en los últimos 400.000 años.	3
Figura 1-2: Evolución de las emisiones mundiales por fuente y sectores 1970- 2004.	4
Figura 1-3: Emisiones GEI excluyendo correspondientes a actividades relacionadas con uso del uso y forestales.....	6
Figura 1-4: Intensidad en el uso de energía y emisiones de CO ₂ , 1970-2004.....	7
Figura 1-5: Emisiones de carbono desde la fuente hasta su uso final	8
Figura 1-6: Cambios pronosticados a finales del siglo XXI en la temperatura media del aire (Izquierda) y de la precipitación anual (derecha).....	10
Figura 1-7: Emisiones de GEI por sectores en Colombia en 2004.....	11
Figura 1-8: Vulnerabilidad Ambiental del Territorio 2011-2040.....	12
Figura 1-9: Emisiones de GEI en Colombia por sector 1999-2010 y emisiones de CO ₂ por sector 2000-2011.....	13
Figura 1-10: Emisiones mundiales y de Colombia por sectores 2011.....	14
Figura 1-11: Resultados escenarios modelos Witch escenarios no acción y compromisos débiles	36
Figura 1-12: Resultados escenarios modelos Witch – concentraciones 450 ppm	37
Figura 1-11: Estructura de producción en el modelo MEG4C.....	38
Figura 2-1: Estructura de producción del modelo	62

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Clasificación Impactos del cambio climático.....	5
Tabla 1-2 Impactos previstos del cambio climático en Colombia.....	10
Tabla 1-3 Clasificación de los bienes por uso – según Ostrom (2010)	16
Tabla 1-4 Clasificación de modelos climáticos	19
Tabla 1-5 Descripción y resultados de los escenarios de política en el modelo DICE	25
Tabla 1-6 Cambios en temperatura dados niveles de concentración de GEI.	29
Tabla 1-7 Resultados escenarios modelos Witch escenarios no acción y compromisos débiles.....	36
Tabla 1-8 Resultados escenarios modelos Witch – concentraciones 450 ppm.....	37
Tabla 1-7 Comparación modelos cambio climático referenciados.	41
Tabla 1-8 Permisos o Certificados de emisión por esquema de negociación.	45
Tabla 1-9 Escenarios de concentración de emisiones para esquema de Massetti y Tavoni	55
Tabla 2-4 Ponderación capital y trabajo en el ingreso mixto por sectores	63
Tabla 2-2 Resultados de la implementación de política en variables agregadas	71
Tabla 2-3 Variación en nivel de actividad por sector	72
Tabla 2-4 Variación demanda de factores.....	72
Tabla 2-5 Variación exportaciones e importaciones intermedias y finales por sector	73

Nota: si es necesario es posible incluir una lista de cuadros, en caso que se utilicen en el desarrollo de la tesis o trabajo de investigación.

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>BAU</i>	Línea de negocios usual (Sigla en Inglés – Business as Usual)
<i>CyT</i>	Límites y Comercio (sigla en inglés – Cap y Trade)
<i>CCA</i>	Permisos de Carbono de California (sigla en inglés- California Carbon Allowances)
<i>CCX</i>	Chicago Climate Exchange
<i>CEPAL</i>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<i>CES</i>	Función de elasticidad constante de sustitución.
<i>CFC's</i>	Clorofluorocarbonados.
<i>CFI</i>	Instrumento Financiero de Carbono (sigla en Inglés – Carbon Financial Instrument)
<i>CH₄</i>	Metano
<i>Cm³</i>	Centímetro Cúbico
<i>CO₂</i>	Dioxido de Carbono
<i>CO_{2e}</i>	Carbono equivalente
<i>CP</i>	Conferencia de las Partes
<i>DICE</i>	Modelo dinámico integrado de cambio climático (sigla en Inglés de Dynamic Integrated Climate and the Economy)
<i>ERU</i>	Unidades de Reducción de Emisiones
<i>ETS</i>	Sistema de Transacción de Emisiones (Emission Transaction System)
<i>EU</i>	Unión Europea
<i>EU ETS</i>	Sistema de Transacción de Emisiones de la Union Europea.
<i>EUA</i>	Permisos de Emisión de la Union Europea
<i>GEI</i>	Gases Efecto Invernadero
<i>GWP</i>	Potencial del calentamiento global.
<i>HFCS</i>	Hidrofluorocarbonados

Abreviatura	Término
<i>IPCC</i>	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
<i>JI</i>	Implementación Conjunta (sigla en inglés – Joint Implementation)
<i>LDC</i>	Países menos desarrollados (Sigla en Inglés – Least Development Countries)
<i>MCP</i>	Problema complementario Mixto (sigla en inglés – Mixed Complementary Problem)
<i>MDL</i>	Mecanismo de Desarrollo Limpio
<i>Mt</i>	Tonelada Métrica
<i>N₂O</i>	Óxido Nitroso
<i>NZ ETS</i>	Sistema de Transacción de Emisiones de Nueva Zelanda.
<i>NZU</i>	Unidades de emisión de Nueva Zelanda
<i>OECD</i>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Sigla en inglés – Organization for economic development and cooperation)
<i>PFCS</i>	Perfluorocarbonados
<i>PNACC</i>	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
<i>PNUD</i>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<i>Ppm</i>	Partículas por millón
<i>ppmv</i>	Partículas por millón por volumen
<i>RCE</i>	Reducción Certificada de Emisiones
<i>RGGI</i>	Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero
<i>RICE</i>	Modelo Regional dinámico integrado de cambio climático (sigla en Inglés de Regional Dynamic Integrated Climate and the Economy)
<i>RMU</i>	Unidad de Remoción
<i>SH₆</i>	Sulfuro
<i>SO₂</i>	Dióxido de Azufre
<i>UNFCCC</i>	Convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
<i>VER</i>	Reducción de Emisiones Verificadas.

Introducción

Los problemas ambientales en economía han sido abordados en la literatura desde diferentes puntos de vista; la economía ambiental ha utilizado las relaciones a nivel macroeconómico y microeconómico, con el objeto de servir como herramienta para el análisis que permitan la comprensión de los impactos (costos) y la elaboración de políticas de acción que contribuyan a la mitigación y reducción de dichos impactos.

Así se han desarrollado herramientas de análisis, para el caso microeconómico frente al comportamiento de los agentes económicos, en este enfoque podemos encontrar como referentes: la introducción de impuestos ambientales (Pigou, 1920), el problema del costo social (Coase, 1960), el problema de los bienes comunes (Hardin, 1968; Ostrom, 1994; Ostrom, Gardner y Walker, 2006) entre otros muchos trabajos.

El análisis macroeconómico ha centrado su atención a la relación entre desarrollo y ambiente, principalmente por el problema del cambio climático, que ha dado lugar a una corriente denominada economía del cambio climático que contempla relaciones entre agentes, instituciones, formas de producción y consumo con la explotación de los recursos naturales y atmosféricos.

En general, la implementación de políticas y acciones para la mitigación y reducción de emisiones de gases efecto invernadero, ha sido ampliamente discutida por los costos y beneficios que cada alternativa tiene sobre la economía y en particular, la preocupación por la manera en qué puede afectar el desarrollo de los países, entre ellas, los esquemas de negociación de emisiones la instauración de impuestos ambientales y esquemas híbridos, que se han implementado a nivel local y global, algunos casos más exitosos que otros, como por ejemplo: la iniciativa regional de gases de efecto invernadero –RGGI en Estados Unidos, el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea, los impuestos al carbono en los países nórdicos y el Reino Unido, entre otros.

Colombia es un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático generado por emisiones de gases efecto invernadero, por lo cual, se hace necesario tomar medidas que contribuyan a la reducción de emisiones; pero previo a la implementación de políticas es necesario hacer una evaluación de los costos económicos asociados.

Para el análisis del costo de implementación de políticas se han utilizado ampliamente los modelos de equilibrio económico (parcial y general) aplicados, de tipo “top-down” y “bottom-up” y algunos modelos híbridos, dentro de los cuales cabe destacar los trabajos de Nordhaus (1992) y Stern (2006) a nivel global, los cuales han sido utilizados por diferentes instituciones para definir sus posiciones y estrategias frente al problema del cambio climático en el escenario político-económico de nivel nacional e internacional; sin embargo existen otros trabajos que deben ser considerados como los trabajos desarrollados por Foley, D. (2007) y Rezai, Foley y Taylor (2010).

Ahora bien, los modelos de equilibrio general aplicados son una herramienta importante para cumplir el objetivo de hacer una evaluación de los costos económicos de la implementación de políticas de cambio climático.

Para el caso colombiano, los ejercicios de este tipo han estado orientados a la evaluación de los efectos del cambio climático, como en el caso del modelo MEG4C del Departamento Nacional de Planeación – DNP- (2012) pero no se conoce hasta ahora un ejercicio de evaluación de la implementación de política. Lo que se esperaría es que la implementación de medidas tenga resultados similares a los que se han obtenido en otros países como la neutralidad fiscal, sin embargo, las características de la estructura de la economía colombiana arrojan resultados desalentadores para la pronta implementación de políticas de cambio climático.

Los resultados de implementar medidas de política de cambio climático en Colombia, con escenarios que reduzcan las emisiones entre 1%, 5% y 10%, generan reducciones significativas en el producto interno bruto, en el rango de 2.6% hasta 35%, y de la misma magnitud en el consumo y la inversión agregada, de otro lado, en el caso del empleo, estas medidas generarían una reducción en la demanda de trabajo en todos los sectores, que implicaría un aumento en el desempleo, esto muestra que nuestra economía no podría soportar este tipo de medidas considerando que se requiere que los indicadores señalados previamente mantengan ritmos de crecimiento positivos que permitan la solución de otro tipo de problemas de orden social como la pobreza y el desempleo.

Este documento se organiza de la siguiente manera: La descripción del problema del cambio climático en el mundo y en Colombia y las herramientas analíticas y de política se presentan en el primer capítulo, la descripción y resultados del modelo de equilibrio general para la evaluación de políticas de mitigación de cambio climático se describe en el capítulo 2 y finalmente se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones para desarrollos futuros en el capítulo 3.

1. Marco teórico y estado del arte

Los capítulos son las principales divisiones del documento. En estos, se desarrolla el tema del documento. Cada capítulo debe corresponder a uno de los temas o aspectos tratados en el documento y por tanto debe llevar un título que indique el contenido del capítulo.

Los títulos de los capítulos deben ser concertados entre el alumno y el director de la tesis o trabajo de investigación, teniendo en cuenta los lineamientos que cada unidad académica brinda. Así por ejemplo, en algunas facultades se especifica que cada capítulo debe corresponder a un artículo científico, de tal manera que se pueda publicar posteriormente en una revista.

1.1 El cambio climático: causas e impactos

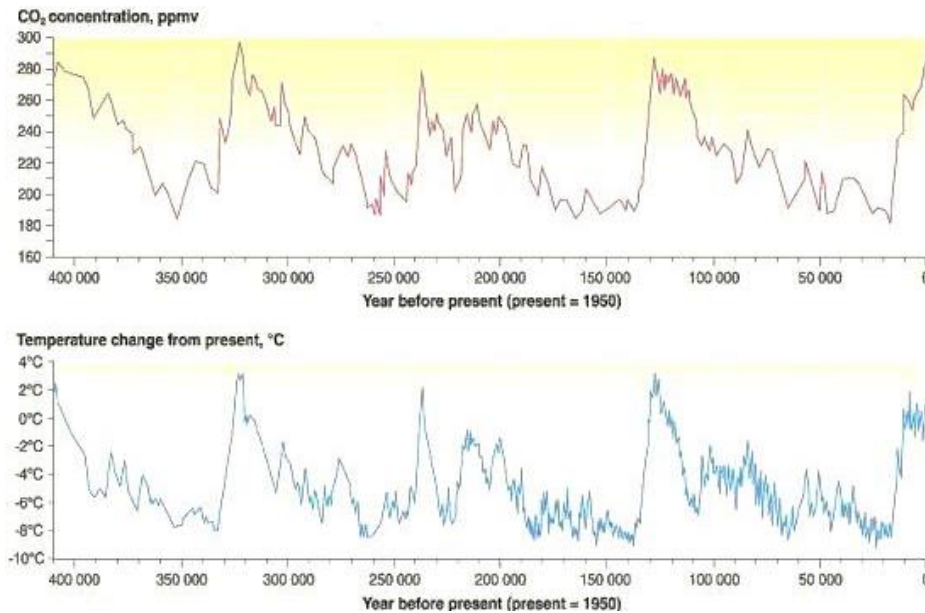
El clima en el planeta se puede entender en función de la actividad solar, la actividad volcánica y la concentración de gases efecto invernadero (GEI) (Gonzales et al, 2003) El cambio climático entonces corresponde a las variaciones que sufran estos factores.

De los anteriores factores, el factor con mayor incidencia es la concentración de GEI que corresponde a la *“retención de calor en la atmósfera debido a la absorción y a la re-radicación de las nubes y algunos gases”* (Ciesla, 1996, pág. 16), los cambios en las concentraciones son resultado de procesos antropogénicos y naturales, en este último caso se han originado cambios significativos en el clima, como las glaciaciones ocurridas hace millones de años y que tuvieron fuertes impactos en los ecosistemas del planeta.

Sin embargo, la creciente actividad humana, ha incidido en los cambios en las concentraciones de gases en la atmosfera como vapor de agua, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ozono y CFC's entre otros y se ha intensificado, con mayor fuerza desde la revolución industrial, por el uso de fuentes de energía minerales, principalmente de carbón y petróleo, que han venido creciendo exponencialmente, siendo hoy uno de los sectores que mayores emisiones generan en el mundo.

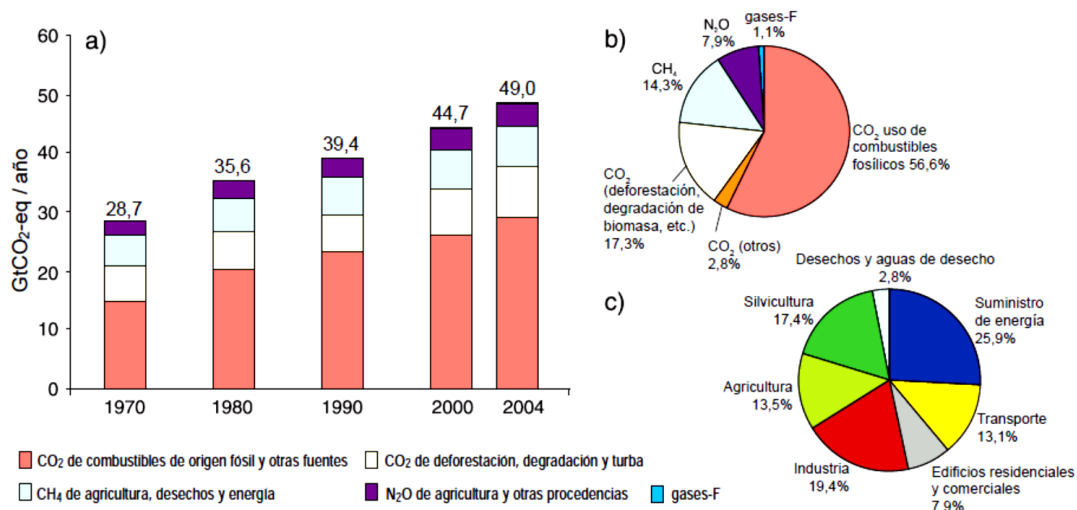
La figura 1-1 muestra los cambios en las concentraciones de CO₂ y los cambios en la temperatura de los últimos 400.000 años, en el que el rango de concentraciones era 160 partes por millón (ppm) a 300 ppm, que es muy inferior a los niveles de emisiones desde la revolución industria hasta el presente que según las cifras publicadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático -IPCC (2007) las concentraciones de CO₂ eq desde la era preindustrial fueron de 250 ppm y en su más reciente reporte el IPCC (2014) indicó que para 2011 se estima sean 430 ppm (en el rango 340-520 ppm) por encima de 370 ppm; con lo cual, es evidente el acelerado incremento en las emisiones de GEI

Figura 1-1: Concentraciones de CO₂ y temperatura en los últimos 400.000 años.



Fuente: J.R. Petit et al (1999)

Figura 1-2: Evolución de las emisiones mundiales por fuente y sectores 1970- 2004.



Fuente: Cambio Climático 2007 – Informe de síntesis. Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el cambio climático. Ginebra, Suiza. 2008. “a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004.5 b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO₂ equivalente. (En el sector silvicultura se incluye la deforestación).” Pág. 5.

Existen diversas definiciones para el cambio climático, como conceptos puramente científicos, entre ellas que el “cambio en el largo plazo en la distribución estadística de los patrones climáticos (ej. Temperatura, precipitaciones, etc.) desde décadas a millones de años” (Rahman, 2012) sin embargo se tienen definiciones más amplias en las que se considera el impacto de la actividad humana (UNFCCC (1992), IPCC (2007, 2014)), que

ha aumentado significativamente generando cambios importantes en la composición de las atmosfera, potenciando los desórdenes climáticos.

De los problemas ambientales, el cambio climático es considerado como uno de los más serios, por lo cual desde el siglo XIX se ha discutido en la comunidad científica, siendo Fourier (1824) quien primero describió el efecto invernadero. (Rahman, 2012)

El estudio del problema del cambio climático ha ido cambiando de paradigma, con lo cual se ha pasado del entendimiento de problema desde la perspectiva científica de identificación del problema (S. XIX), luego buscando las causas, a partir de la identificación de riesgos y consecuencias (S. XX) y finalmente a partir del conocimiento del problema desde otras áreas, por ejemplo la economía, con relación al desarrollo económico, considerando que este es una causa de los problemas del desarrollo (s. XXI)., esto cambios tienen un importante trasfondo con relación a los acuerdos internaciones, el diseño de las políticas públicas y la inclusión de diversos actores. (Rahman, 2012)

El fenómeno del cambio climático de origen antropogénico ha generado impactos sobre la economía mundial que han suscitado una creciente preocupación en diversos sectores: gobiernos, la comunidad científica, organizaciones no gubernamentales y el sector privado entre otros. Esto se hace evidente a través de actividades como la cuantificación de las emisiones por fuentes de emisión, la identificación y estimación de los impactos del cambio climático a nivel físico y económico, establecimiento de políticas y mecanismos de mitigación.

En la comunidad científica internacional, existen aún posiciones diversas con respecto al cambio climático y su evolución, no obstante, hoy existe una mayor evidencia y acuerdo sobre la existencia del problema, por lo cual se han generado diferentes alarmas sobre algunos fenómenos como incrementos de la temperatura promedio del planeta, el nivel del mar, acidificación del océano y otros eventos de clima extremos que se usan para la clasificación de impactos (Bossley y Kerr. 2009) y sobre los cuales se esperan impactos negativos presentados en la tabla 1-1.

De otro lado, si bien se han establecido en su mayoría impactos negativos, también existen impactos positivos por el cambio climático, como producción agrícola de algunos productos que en ciertas latitudes generalmente no es posible cultivar, pero que son transitorios y tras los cuales las consecuencias, especialmente para la agricultura y por ende para la seguridad alimentaria, son desastrosas (Tickell, 2009)

Tabla 1-1 Clasificación Impactos del cambio climático.

FENÓMENO	IMPACTO
Incremento en la temperatura promedio.	En la mayor parte del planeta, con frecuencia días y noches más cálidas, con impactos sobre la productividad agrícola, descongelamientos e incremento en la demanda de ventiladores y aires acondicionados.
Fuertes precipitaciones y sequías.	Daños en los cultivos, mayor erosión, contaminación de las fuentes de agua subterráneas y de la superficie, incremento en infecciones y enfermedades de las vías respiratorias y en la piel. Presión sobre las

	infraestructuras urbanas y rurales. Reducción de oferta eléctrica por hidroeléctricas.
Mayor actividad de ciclones, incidencia de altos niveles del Mar y acidificación del océano.	Salinización del agua que reduce las fuentes de agua fresca (para potabilizar y/o potable), fuertes vientos, alta vulnerabilidad en las costas. El aumento de las concentraciones de CO ₂ en los océanos ha aumentado la acidez del mismo.

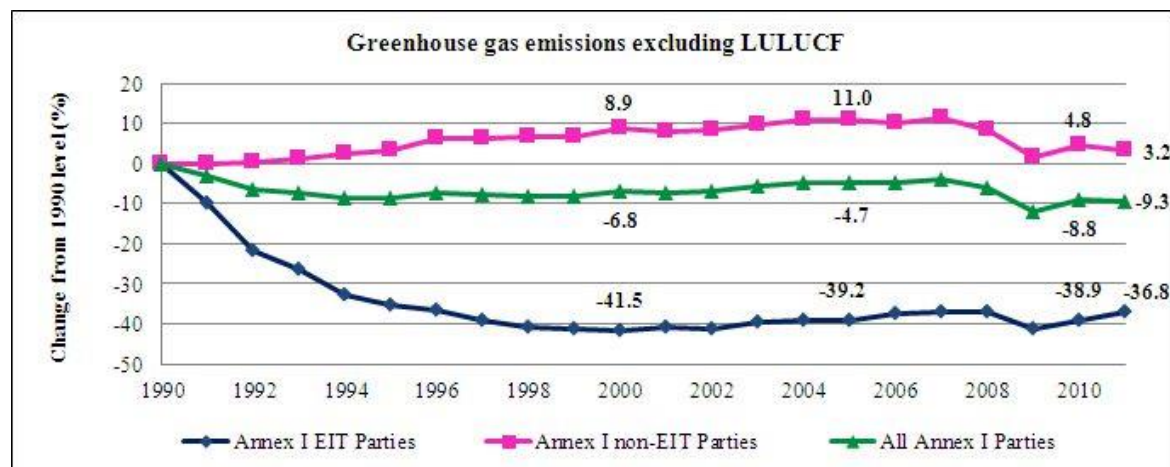
Fuente: Construcción propia a partir de la información disponible en Tickell (2009)

1.1.1 Emisiones GEI

Una de las aproximaciones para resolver el problema del cambio climático está basado en la reducción de los niveles de emisiones (en términos relativos y absolutos) para lo cual se han definido niveles de emisiones que permitan la comparación – línea base- y los escenarios de emisiones – límites-, el IPCC en su quinto informe de evaluación del Cambio Climático (2014) señaló la necesidad de reducciones que permitirán la estabilización del aumento de la temperatura de la tierra en 2°C, para lo cual, se requiere que las emisiones se ubiquen en niveles de entre 40%-70% frente a los niveles de 2010, es decir, por debajo de 450 ppm CO₂-e.

En las primeras negociaciones se hablaba de la necesidad imperante de los países desarrollados en reducir las emisiones y en el caso de los países en desarrollo se invitaba a comprometer en sus planes de desarrollo estrategias orientadas a la mitigación, mientras que en las negociaciones de Lima (2014) se evidenció la flexibilización de los compromisos de los países industrializados, a los que históricamente les corresponde una mayor responsabilidad frente a las emisiones actuales, no obstante se mantuvo en la agenda la necesidad de proveer financiación a los países en desarrollo y los menos desarrollados mediante la capitalización del *Green Climate Fund* mientras que se busca incentivar la implementación de acciones de adaptación y mitigación en mayor medida en los países en desarrollo.

Figura 1-3: Emisiones GEI excluyendo correspondientes a actividades relacionadas con uso del uso y forestales.



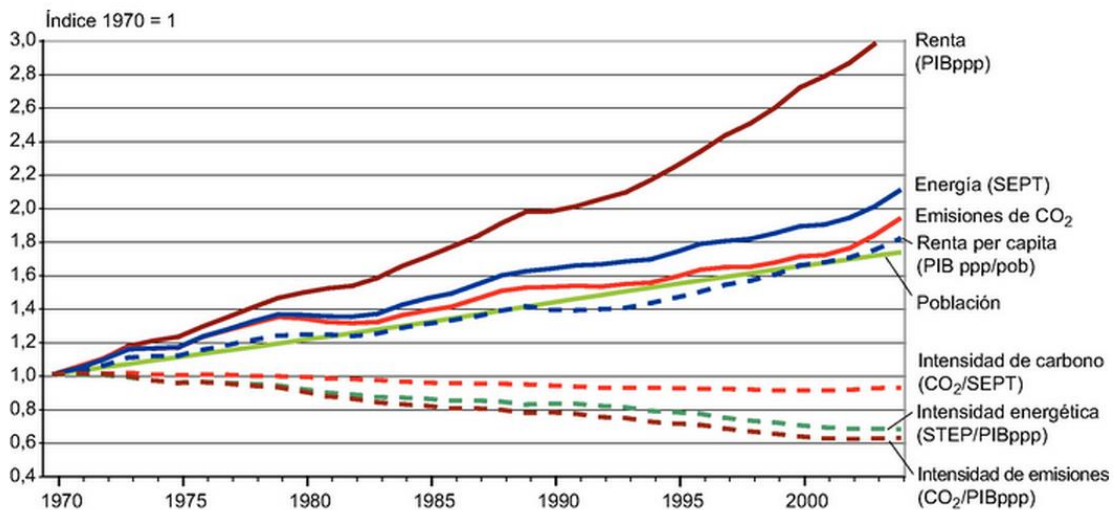
Fuente: UNCCC.

La medición de las emisiones de GEI proceden de diversas fuentes, entre ellas, las correspondientes a los compromisos adquiridos por los países que pertenecen al protocolo de Kioto (o la enmienda de Doha que corresponde al segundo período de compromiso), quienes deben presentar reportes sobre sus emisiones ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático – UNFCCC- entidad encargada de revisar y publicar esta información, en la figura 1-3 se muestra los niveles de emisiones publicados por la UNFCCC frente a la línea base -1990.

Otras organizaciones realizan publicaciones con información relevante al respecto: Las Naciones Unidas a través de la división de estadísticas, la Agencia de Energía de los Estados Unidos, la Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo Económico, la oficina de estadísticas de las comunidad europea, el instituto mundial de recursos – indicadores y herramientas de análisis del cambio climático- y la organización meteorológica mundial entre otras.

Es importante tener en cuenta, que los cambios en la producción de cada período (preindustrial, industrial y postindustrial) ha mostrado impactos altamente negativos para el clima, en tanto, que en la era preindustrial, el uso de combustibles fósiles no era intensivo y la población era pequeña en comparación con los niveles actuales, sin embargo hoy estamos al borde de ciertos umbrales, que se pueden denominar puntos de no retorno, a partir de los cuales los daños causados, son costosos y altamente destructivos para los sistemas físico-biológicos y económicos. (Stern, 2006. Tickell. 2009) Se puede evidenciar en la figura 1.4 cómo han incrementado las emisiones, de manera más acentuada a partir de la segunda mitad del siglo XX.

Figura 1-4: Intensidad en el uso de energía y emisiones de CO₂, 1970-2004.

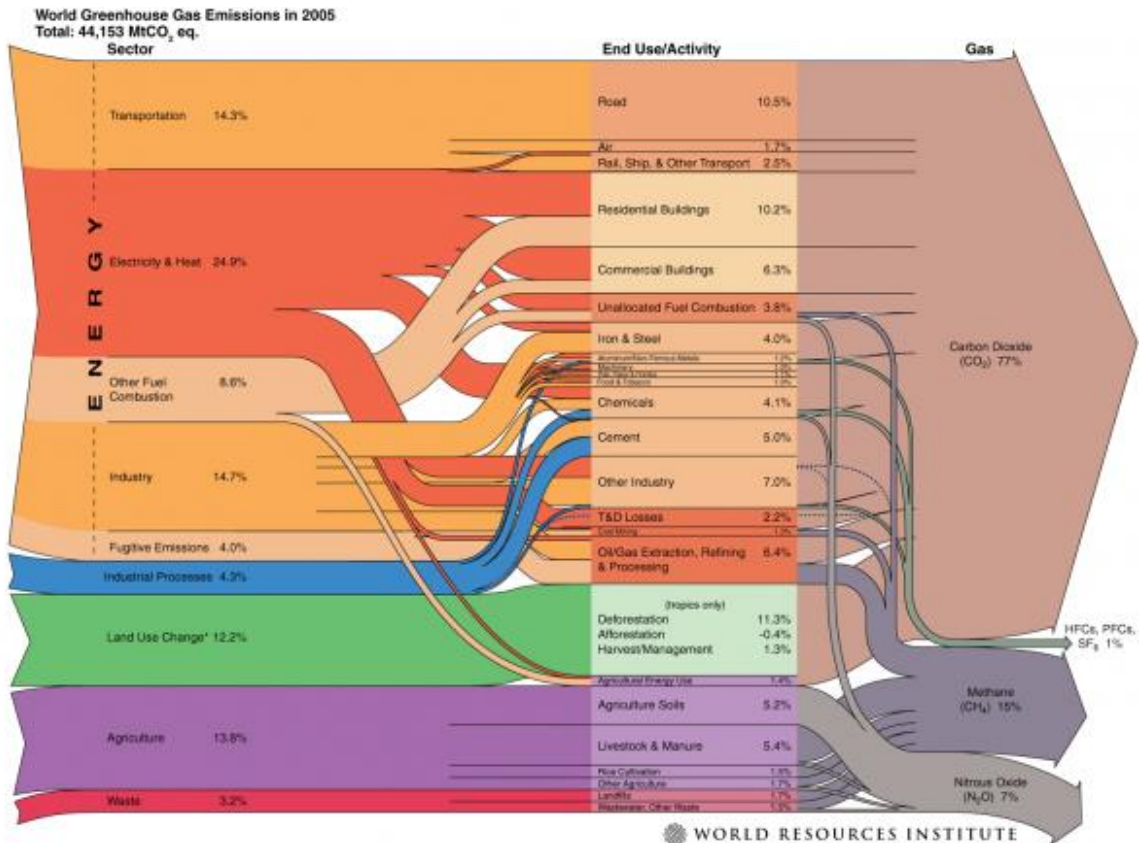


Fuente: IPCC (2007).

El crecimiento económico y del ingreso per cápita de la población mundial ha aumentado y sigue aumentando la demanda por consumo de energía a nivel mundial, intensificando las emisiones de GEI. El 87% de la energía que se usa actualmente proviene de fuentes fósiles, lo cual está directamente vinculada con la producción económica, esto implica que sustituir el uso de esta energía por otra que genere menores emisiones,

necesariamente resultará en reducción de la producción económica hasta que no se tengan alternativas energéticas menos costosas y eficientes. El cambio requerido demanda costosas inversiones para su desarrollo y la transformación tecnológica para su uso, dado que la tecnología de producción actual, se basa en el uso de energía fósil. (Chichilinsky y Sheeran, 2009).

Figura 1-5: Emisiones de carbono desde la fuente hasta su uso final



Fuente: World Resources Institute. Datos de 2005. Los cálculos están basados en equivalentes de CO₂, con 100 años potenciales de calentamiento global del IPCC (1996), sobre la base de una estimación total global de 41.755 Mt de CO₂ equivalente. Cambio de uso de la tierra incluye tanto las emisiones y absorciones.

El incremento en las emisiones está altamente relacionado con el incremento en el uso de energía (de origen fósil) y se generan interacciones más complejas (entre sectores) a través de la economía que derivan en los GEI, como las que observan en la figura 1-5.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante subrayar que un cambio en la estructura económica puede ocasionar pérdidas, por ejemplo, en términos de crecimiento económico y además tiene unos altos costos asociados, así como requiere de un acuerdo global –y de acuerdos locales – que comprometan la acción, por lo cual, es un problema diferente a la contaminación de los ríos o las basuras, que si bien degradan el planeta tienen impactos localizados y las soluciones son de responsabilidad local.

Para América Latina, la evaluación de la participación en las emisiones de GEI, según un informe presentado por la CEPAL (2010) tiene una participación baja, no obstante, el creciente deterioro del suelo y de las zonas forestales, llama la atención sobre los controles a tales prácticas perjudiciales, por todas las pérdidas potenciales en términos de recursos así como la productividad del suelo para la producción agrícola, lo que se traduce en riesgos para la seguridad alimentaria.

Es importante considerar que a nivel mundial hay países como China e India que en términos absolutos aportan un mayor porcentaje de las emisiones mundiales de GEI, pero frente a los cuales, en términos per cápita, América Latina tiene una mayor contribución, aunque se ha evidenciado una disminución en la participación relativa (CEPAL 2010)

Con relación a los impactos, al igual que en el resto del mundo, América Latina está expuesta a los riesgos por la intensificación de los ciclos climáticos, que pueden generar grandes pérdidas económicas y humanas, como ha venido sucediendo, según Samaniego (2009, Citado en CEPAL 2010) así entre 1970 y 2008, los desastres naturales alcanzaron un costo de USD 80.000 millones.

1.1.2 El cambio climático en Colombia – Cifras: Impactos y Emisiones

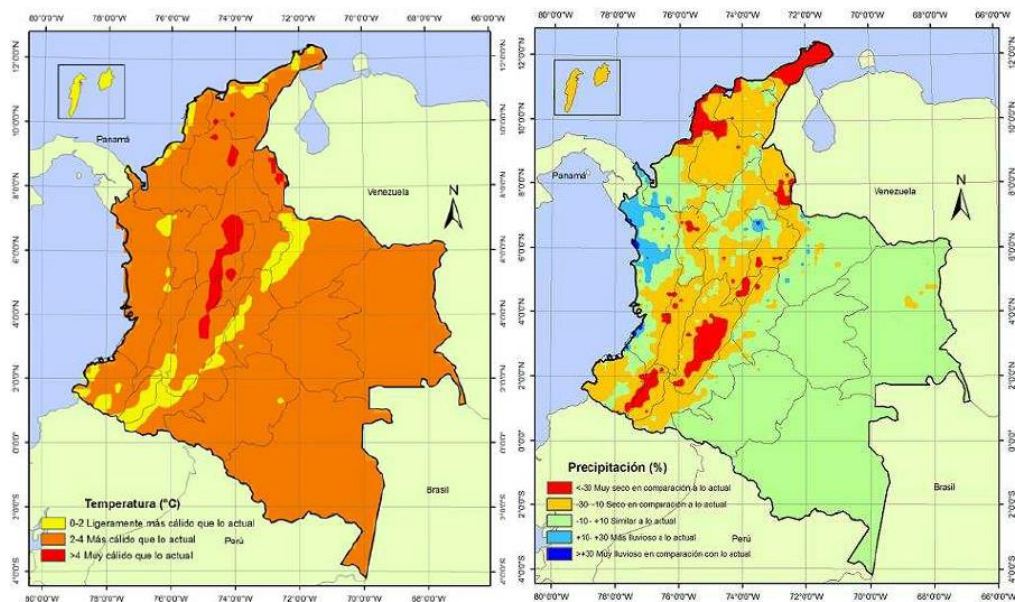
Los cambios en el clima mundial, tienen un impacto que puede ser observado a nivel global, regional y local, y en Colombia, particularmente son evidentes los efectos del cambio climático, por ejemplo, en la reducción de las zonas de glaciar en el sistema montañoso del país, según cifras del Ministerio de Agricultura, entre 1989 y 2005 se redujo el área de glaciares en un 56%, asimismo se tiene una mayor vulnerabilidad de las comunidades con la intensificación de los ciclos de lluvias y sequías, los caudales de los ríos cambian de una manera extrema entre cada ciclo, pasando de disminuciones importantes en los caudales de los ríos a desbordamientos.

Existe otra problemática en el país relacionada con la creciente deforestación, que como se indicó previamente, disminuye la capacidad de sumidero natural y libera emisiones de CO₂ contribuyendo a incrementar las emisiones en el país.

El programa para el desarrollo de las Naciones Unidas – PNUD-, en el marco del proyecto de Integración de Riesgos y oportunidades del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y en la programación de país de las Naciones Unidas (s.f) ha señalado que considerando la ubicación espacial en el país de algunas comunidades, con alta concentración en las zonas altas de las cordilleras y en zonas inundables, estas están expuestas a la presión sobre los recursos hídricos así como a la inestabilidad en los suelos.

Pabón (2003) construyó escenarios de incremento de temperatura en el país para la segunda mitad del siglo XXI, figura 1.6, sobre los cuales se tendría i) un incremento de la temperatura entre 0° a 2.5°C de manera diferenciada por regiones, ii) cambios en los niveles de precipitaciones en un rango entre -15% y 15% y iii) ascenso en el nivel del mar entre 40 y 60 cm³

Figura 1-6: Cambios pronosticados a finales del siglo XXI en la temperatura media del aire (Izquierda) y de la precipitación anual (derecha).



Fuente: Pabón. D. El cambio climático en Colombia. Departamento de Geografía. Universidad Nacional. http://www.idea.unal.edu.co/ eventos/CisdalV/ponencias/E2_Cambio_clima/E2_daniel_pabon.pdf

Tabla 1-2 Impactos previstos del cambio climático en Colombia.

AREA	IMPACTOS
Salud	Incremento en las enfermedades transmitida por vectores, con mayor propensión en la región andina, por el detrimento de los recursos hídricos.
Sector agropecuario	Hay mayor vulnerabilidad a erosión de suelos, aridez, desertificación y cambios hidrológicos. Con una mayor probabilidad de inundación y otros eventos hidrológicos extremos.
Recursos hídricos	Los cambios en los regímenes hídricos, en las zonas costeras y en los llanos orientales podrían dar lugar a mayores inundaciones mientras que en la región andina y el norte pueden presentarse problemas de suministro de agua, que tendrá impacto en las hidroeléctricas.
Sistemas Costeros	Se prevé un incremento en el nivel del mar, lo que expone a la población costera (habitantes y asentamientos industriales) así como problemas en el suministro de agua por intrusión salina.
Ecosistemas	El cambio climático puede acentuar la reducción del área de nevados y páramos así como de las zonas de coral, con lo cual se afecta la biodiversidad y los servicios ambientales que estas

	zonas proveen.
Vivienda	Las condiciones de habitabilidad en muchas zonas se pueden deteriorar, y en ocasiones, a causa de los eventos extremos generar desplazamiento interno.

Fuente:
Const
rucción

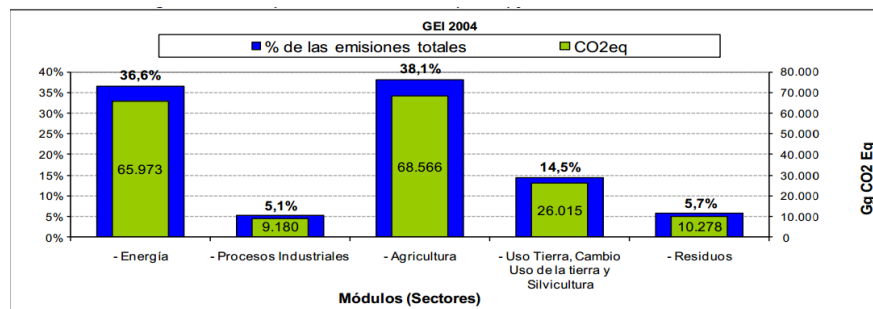
propia a partir de información del PNUD. 2010

En la tabla 1-2, se presenta en resumen la vulnerabilidad del país a consecuencia del cambio climático si se consideran los impactos específicos en un amplio conjunto de áreas:

Con relación al nivel de emisiones, de acuerdo con el inventario de GEI realizado para el período 2000-2014, Colombia aporta 0.37% del total emitido en el mundo y los niveles de emisión per cápita son inferiores significativamente a los niveles en Europa, Asia Oriental y Norteamérica (Ministerio Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

La información disponible sobre las emisiones de GEI en Colombia, no han sido actualizadas recientemente por la autoridad nacional definida para tal efecto, en 2004, las emisiones por sector se presentan a continuación en la figura 1-7:

Figura 1-7. Emisiones de GEI por sectores en Colombia en 2004.



Fuente: http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosGestion/cmnc/130214_com_02_cmnucc_resumen_ejecutivo.pdf

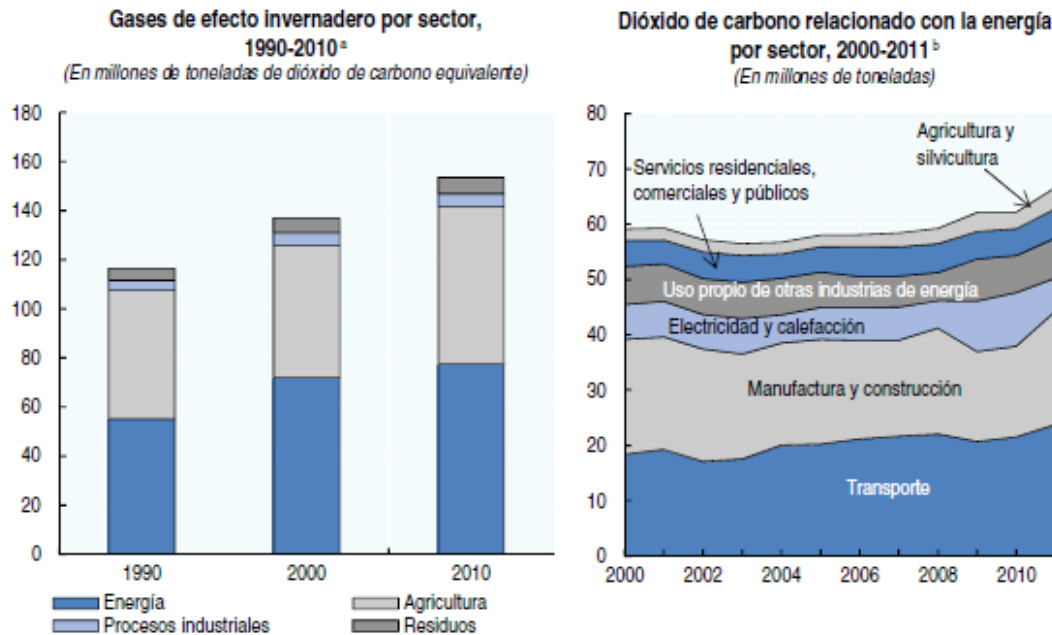
En el plan de desarrollo de Colombia para 2002-2006 se establecieron metas de reducción de emisiones de GEI para lo cual se definieron una serie de acciones como:

- a. Proyecto nacional de captura de GEI con una reducción de 250.000 ton CO₂eq
 - b. Apoyo a iniciativas sectoriales bajo uno de los mecanismos del protocolo de Kioto.
- En sectores como energía, transporte y residuos se han desarrollado proyectos de reducción de emisiones (considérese frente al escenario sin proyectos o de línea base), lo cual, potencialmente generaría ingresos al país por USD 8 MM, según las cifras presentadas en la segunda comunicación de Colombia antes el CMNUCC.

En Colombia, el gobierno nacional en el plan de desarrollo 2010-2014 incluyó dentro de sus estrategias el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático – PNACC – cuyo objetivo principal es reducir el riesgo y los impactos socioeconómicos asociados a la variabilidad y al cambio climático en Colombia, teniendo en cuenta que hay evidencia sobre el cambio en el clima, así por ejemplo, entre 1998-2011 el 90% de las emergencias estuvieron relacionadas con fenómenos hidroclimatológicos, según las cifras presentadas por la Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres.

considerando los cambios en la producción energética que se están orientando al uso de fuentes fósiles como el carbón.

Figura 1-9: Emisiones de GEI en Colombia por sector 1999-2010 y emisiones de CO₂ por sector 2000-2011.



Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*, París, OECD Publishing, 2013.

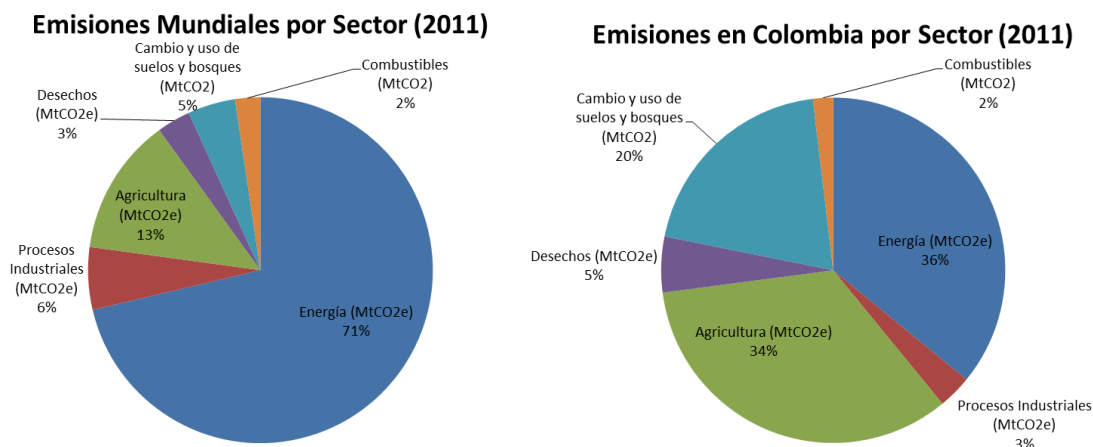
^a Estimación parcial que excluye las emisiones por cambio de uso del suelo y actividades forestales, y por uso de solventes.

^b Enfoque sectorial que excluye los depósitos de combustible para transporte internacional aéreo y marítimo.

Fuente: OECD/ECLA Evaluación Desempeño Ambiental: Colombia 2014. Gráfico 1.2

La figura 1-9 muestra la evolución en las emisiones de CO₂ por sector entre 1990 y 2010 así como la evolución en el incremento estas en función de la energía por sector, en el que en general en todos los sectores se presenta un incremento; el sector de transporte y manufactura y construcción representan los mayores aportantes.

Comparativamente, en la figura 1-10 se observa que la composición de las emisiones mundiales y de Colombia para 2011, dan cuenta de una mayor diversificación en el país, en el que la energía representa el 36 % frente al 71% en este sector para el mundo; así mismo ocurre con el sector agricultura que representa en las emisiones mundiales el 13 % frente al 34% en Colombia. Un elemento importante en Colombia corresponde a las emisiones por cambio y usos de suelos y bosques que corresponde al 20% del total pero que en el resto del mundo alcanza solo el 5%, lo que puede considerar un signo de alarma frente a las medidas que deberían adoptarse para proteger zonas de bosques que cumplen la función de absorción y captura de GEI. En el caso del sector combustibles (asociado a transporte) la proporción de emisiones en ambos casos es 2%.

Figura 1-10: Emisiones mundiales y de Colombia por sectores 2011

Fuente: Construcción del autor a partir de datos de Climate Analysis Indicators Tool (CAIT 2.0) (Washington, DC: World Resources Institute, 2014).

1.2 El cambio climático en economía

El análisis de la relación entre el cambio climático y la economía, se ha convertido en un asunto de gran interés teórico y político, razón por la cual, se desarrolló lo que se conoce como economía del cambio climático, que busca entender el problema, para establecer cuáles serían las alternativas para reducir y mitigar las causas, al tiempo que disminuyan los costos asociados.

Entre las contribuciones teórico-prácticas más sobresalientes, se encuentra el documento presentado por Nicholas Stern, conocido como el Informe Stern, elaborado por petición del gobierno británico y en que se estima que “el costo total del cambio climático, en los próximos siglos, asociado a las emisiones bajo la línea base actual, involucra impactos y riesgos que son equivalentes en promedio a una reducción del consumo per cápita de al menos 5% ” (Stern, 2006. p. 20) Aunque este es un ejercicio reciente frente a la preocupación por el cambio climático, es un gran aporte, dado que estima los costos de actuar en el corto plazo y las pérdidas que el problema puede generar en la economía mundial, si no se toman acciones inmediatas. Otras contribuciones importantes corresponden a los trabajos desarrollados por Nordhaus (1991, 2007) y Cline (1992, 2007), los cuales se enmarcan en el análisis costo-beneficio de la implementación de políticas a partir de los resultados de estimación bajo modelos de crecimiento económico pero cuyas conclusiones son menos fatídicas y por lo cual no se considera tan urgente emprender acciones que limiten el crecimiento en el nivel de emisiones..

Otros autores han elaborado críticas a los autores referidos previamente y presentan propuestas alternativas para el análisis del cambio climático como Ackerman (2009) quien señala que Stern está menos equivocado que sus críticos con respecto a la elección de la tasa de descuento, la inclusión de la incertidumbre y las consideraciones

sobre los costos y beneficios de reducir las emisiones, Spash (2007) es más crítico al uso de herramientas de análisis de costo beneficio, subrayando que el desconocimiento de los aportes de la economía ecológica al análisis del cambio climático contribuyen a mantener la relevancia de la escuela dominante que da mayor importancia al crecimiento económico tradicional, Mendhleson (2007) por su parte considera que si bien el informe Stenr contribuye, se requiere una mayor consideración de eventos económicos y científicos, antes que considerar solamente una alta suma de dinero invertida para reducción. Mientras que Tickell (2009) propone un nuevo acuerdo para reemplazar el protocolo de Kioto que corrija las deficiencias en el planteamiento, construyendo un acuerdo más eficiente, efectivo y equitativo.

Weitzman (2007) cuya crítica a Stern se refiere a la elección de la tasa de descuento intertemporal, por lo cual, primero reconoce la importancia de la discusión, pero señala que el costo a asumir para frenar el calentamiento global no debe pensarse en función de la suavización del consumo óptimos sino que además debe hacerse consideraciones correspondientes a eventos catastróficos, para los cuales, es difícil estimar una función de distribución de probabilidad.

En un marco más teórico, se encuentran los análisis desarrollados por Foley (2007) y Rezai, Taylor y Foley (2010) en las que el problema del cambio climático, se aborda a partir del concepto de externalidad de una forma distinta a la de los autores previos, se considera que hay un concepción errada con respecto a la mitigación del cambio climático, señalando que se incurre en un error al asumir que “la asignación de la inversión en la economía mundial es eficiente, pero en presencia de una externalidad la economía mundial no está en su frontera eficiente. Así una vez corregida la externalidad el calentamiento global no presenta problemas novedosos para la distribución del bienestar económico entre las generaciones que aún no son inherentes a otras opciones de inversión. Los costos de la mitigación de los gases de efecto invernadero se pueden desplazar a las generaciones futuras por la reducción de inversión convencional, antes que por la reducción de los estándares actuales de vida” (Foley, 2007. Pág. 3) es decir, que los análisis tradicionales consideran un estado inicial eficiente, en el que el problema del cambio climático ajusta genera una pérdida de bienestar, no obstante, los autores señalan que esto no es cierto, tal que la inclusión del cambio climático daría lugar a una verdadera asignación eficiente. Esta forma de abordar el problema de cambio climático podría dar lugar a un mayor interés a nivel político – nacional e internacional- que puede conducir a priorizar las acciones para combatir el cambio climático.

Antes de abordar las herramientas analíticas de la economía del cambio climático es importante referirse a aspectos teóricos fundamentales del análisis del cambio climático a través de la economía ambiental y la economía ecológica.

1.2.1 Análisis del cambio climático a través de la economía ambiental

El análisis del problema de cambio climático incorpora diversos aspectos, uno de ellos es asumir la atmosfera como bien y utilizar el análisis de externalidades como punto de referencia para la proposición de modelos económicos con cambio climático – para la

evaluación de los costos y la evaluación económica de las políticas de mitigación y reducción del cambio climático.

El creciente interés en la literatura económica y en el escenario político internacional, el cambio climático ha sido analizado bajo el supuesto de la atmósfera como un bien común global.

De otro lado, se considera que las emisiones de GEI principal causa del cambio climático, son localizadas pero sus efectos son globales (Stern, 2008) a diferencia de otros problemas ambientales como la polución, lo que da una característica particular a este problema.

A partir de la concepción de la atmósfera, Ostrom (2010) ha propuesto una redefinición en clasificación de los bienes por su relación de uso- tabla 1-3, tradicionalmente a través de dos conceptos *rivalidad* y *exclusión*, indicando que “*hay diferencias fundamentales que afectan los incentivos que enfrentan los individuos*” (Ostrom, 2010. Pág. 644), con relación al criterio de la rivalidad, al cual denomina *Subtractability*¹

Tabla 1-3 Clasificación de los bienes por uso – según Ostrom (2010)

		SUBTRACTABILITY	
		<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
DIFICULTAD DE EXCLUIR POTENCIALES BENEFICIARIOS (EXCLUSIÓN)	<i>Alto</i>	Bienes comunes: Fuentes de Agua Subterráneas, lagos, sistemas de irrigación, bosques, etc.	Bienes Públicos: Paz y Seguridad, defensa nacional, conocimiento, etc.
	<i>Bajo</i>	Bienes Privados: Alimento, Ropa, automóviles, etc.	Bienes Toll: Teatros, Clubs privados, Centros de cuidado.

Fuente: Ostrom. E (2010). Pág. 645.

Ostrom (2010) señala que los bienes comunes tienen el atributo *subtractability*² de los bienes privados con el problema de la exclusión de los bienes públicos, entre los cuales se encuentran los bosques, sistemas de agua, la pesca, y la atmósfera global, que resultan fundamentales para la supervivencia humana en el planeta.

1.2.2 Análisis desde la Economía Ecológica

Si se advierte en las reflexiones de los economistas ecológicos, Naredo (1992), en su artículo “*Fundamentos de la economía ecológica*” señala que la manera en la que la

¹Dado que la propuesta de Ostrom (2010) es diferenciar el concepto tradicional de rivalidad con este concepto, se considera importante mantener el término en inglés.

² Ostrom (2010) señala que en lugar de rivalidad en el consumo utiliza el termino *subtractability* de uso. No obstante, no se encuentra una palabra en español que corresponda a este término.

economía tradicional ha incorporado en su análisis los recursos del medio ambiente y la problemática ambiental, ha sido deficiente y propone como alternativas complementarias para que la economía incluya esos procesos relegados, centrando la atención de los instrumentos analíticos corrientes a esos procesos, es decir, siguiendo la lógica de la valoración en términos monetarios que corresponde al análisis planteado desde la economía ambiental o adaptando la gestión económica al análisis desde otras disciplinas como la ecología.

En economía ecológica, el enfoque termodinámico³ es uno de las bases de su análisis, una revisión conjunta de este y del proceso de producción, según Naredo (1992), entre los cuales se establece una conexión formal en la que supone, que existe un único flujo físico de recursos utilizados y un único flujo de producto, de acuerdo al teorema de conexión, en el proceso de producción, la ganancia obtenida, medida en términos monetarios, debe compensar la dispersión generada en términos físicos. No obstante, como muchos de los recursos utilizados en el proceso se toman gratuitamente y una vez generados los productos el sistema productivo los utiliza, pero luego los retira y se terminan convirtiendo en desechos, es decir, se extraen materiales y energía de la naturaleza en forma concentrada (con baja entropía) para los cuales no existe un precio asociado, para obtener productos que se devuelven a la naturaleza de forma degradada, diluida, como en el caso de las emisiones de efecto invernadero de manera que no se mantiene la conexión entre el enfoque termodinámico y el proceso de producción, de manera que el problema reside en que la penalización por los residuos generados es casi nula, evitando así que las empresas o los individuos tomen medidas, además que los valores agregados positivos se fundamentan en la poca valoración que tienen los recursos para ellos, por lo cual el problema de contaminación no puede solucionarse solo por imponer un impuesto, puesto que el problema reside en que se están utilizando los recursos a precio cero, por lo cual el instrumental del enfoque económico, difícilmente puede aportar soluciones operativas para que se dé un intercambio sostenible de las sociedad con su ambiente, si no existe el acompañamiento de otras medidas, preferiblemente de orden preventivo.

De otro lado, ese reconocimiento de los límites físicos y el tratamiento de las leyes de la entropía, son otros de los grandes aportes de la economía ecológica y que ha permitido proponer análisis complementarios, de acuerdo con Rezai, Taylor y Mechler (2013), se destacan el establecimiento de límites y umbrales en una integración amplia del análisis económico y los sistemas ecológicos; por lo cual, ellos proponen que el crecimiento económico puede ser visto en el marco de la macroeconomía ecológica, que incluye asuntos como exergía, decrecimiento, consumo sostenible, incertidumbre y riesgo y el análisis multicriterio. Para ellos la macroeconomía ecológica, supone un marco conceptual de tipo Keynesiano para el análisis económico completo del cambio climático, para lo cual es relevante considerar aspectos como: 1. Consumo sostenible, 2. Reducción del tiempo de trabajo, 3. La productividad del trabajo y el uso de energía y el efecto rebote⁴; Rezai, Taylor y Mechler (2013) indican que este tipo de análisis

³ Enfoque Termodinámico: Es decir a partir de la evaluación del flujo energético asociado a un proceso.

⁴ El efecto rebote (o paradoja de Jevons) implica que si el costo de un recurso se reduce como consecuencia de un incremento en la eficiencia, entonces, los consumidores aumentarán su consumo compensando la mejora por eficiencia.

igualmente requiere el uso de herramientas de simulación numérica para resolver el problema, sin embargo, es aunque se ofrece como una alternativa de análisis en economía ecológica no se ofrece evidencia de su aplicación y se deja abierto para el desarrollo de investigaciones futuras. Su aporte fundamentalmente corresponde a la invitación a considerar en el marco macroeconómico las implicaciones de algunos cambios que inicialmente podrían considerarse contraintuitivos como en el caso del consumo y la reducción del tiempo de trabajo pero que son importantes en términos de su aplicación al problema del cambio climático.

1.3 Modelos de la economía del Cambio Climático

La economía del cambio climático recoge varios conceptos que dan lugar a medidas para controlar el cambio climático entre las que se encuentran los impuestos a las emisiones del carbono, el comercio de emisiones y esquemas híbridos entre las anteriores, cuya integración se hace a través de modelos de equilibrio general y de crecimiento. La elección de alguna de esas medidas dentro de las políticas de mitigación ha sido objeto de discusión a nivel académico y político.

El comercio de emisiones se ha presentado como una alternativa para enfrentar el problema del cambio climático, y surgió en respuesta a la creciente preocupación de atender los daños potenciales de la emisión de gases efecto invernadero, problema que ha sido abordado en economía desde el punto de vista de los impactos, costos y la implementación de política (Nordhaus, 1992).

Springer (2003 citado en González (2006)) se refiere a la existencia de una serie de modelos de control del cambio climático a partir de los cuales se han desarrollado los diferentes análisis de impacto de las políticas de mitigación del cambio climático, la existencia de cinco categorías de modelos, que se muestran en la tabla 1-4: i) Modelos Energéticos que son modelos que inicialmente correspondían a optimización lineal pero que actualmente son modelos de equilibrio parcial. Su atención está las políticas energéticas y consideran de manera especial el desarrollo tecnológico, ii) Modelos de equilibrio general aplicados son modelos fuertemente micro fundamentados que buscan incorporar las interrelaciones económicas como un todo, dentro de esta categoría también se pueden encontrar modelos INPUT-OUTPUT e Híbridos, iii) Modelos Macroeconómicos Neokeynesianos que corresponden también a modelos de equilibrio general no obstante centran su atención en la demanda aunque no necesariamente suponen la existencia del equilibrio. Son econométricamente robustos en lo correspondiente a correlaciones, iv) Modelos de análisis integrado, estos modelos básicamente hacen una integración de la economía y los factores climáticos, en doble vía, su mayor ventaja es que ayudan al análisis costo-beneficio de políticas para la determinación de soluciones óptimas y v) Modelos de Comercio de Emisiones que parten del análisis de los costos marginales en la reducción de emisiones obtenidas a partir de modelos de equilibrio.

Tabla 1-4 Clasificación de modelos climáticos

CATEGORÍA	MODELO	AUTOR
ENERGÉTICOS	MARKAL	Seebregts <i>et al.</i> 2001
	POLES	Criqui P. 2001.
EQUILIBRIO GENERAL APLICADOS	EPPA	Babiker <i>et al.</i> 2001 del MIT
	GEM-E3 de la Comisión Europea	Capros <i>et al.</i> 1998.
	MERGE	Manne <i>et al.</i> 1995
	GRAPE	Korosawa <i>et al.</i> 1999.
MACROECONÓMICOS NEOKEYNESIANOS	G-CUBED	McKibbin <i>et al.</i> 1999
	OXFORD	Cooper <i>et al.</i> 2005
ANÁLISIS INTEGRADO	DICE , RICE*	Nordhaus 1993 ,
	MIT-IGSM	Prinn <i>et al.</i> 1999
	PAGE2002*	Hope 2006
	WITCH*	Massetti y Tavoni 2012
COMERCIO DE EMISIONES	PET	

Fuente: Adaptado de González (2006) - * Estos modelos no aparecen referenciados por González (2006) no obstante son modelos de referencias importantes en la literatura del cambio climático (Stern (2006) Nordhaus (2007) Y Massetti y Tavoni (2012)

MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL DINAMICO – TIPO RAMSEY

En la literatura sobre modelos de equilibrio general aplicados a cambio climático se observa un conjunto de modelos que incorporan dinámica, en los cuales, se consideran supuestos acerca del cambio tecnológico, crecimiento demográfico, expectativas de los agentes (tasas de descuento)

Los modelos de equilibrio general incluyen: agentes, sectores, factores productivos y las demás variables que caracterizan una economía. Identificando su uso y fuente; lo anterior con el objetivo de encontrar vectores de precios y cantidades de equilibrio.

El modelo propuesto por Ramsey en 1928 sirvió de fundamento de la teoría de crecimiento económico, este modelo de acuerdo con Barro y Sala-i-Martin (2004) maximiza la utilidad de los consumidores que son agentes idénticos con una restricción presupuestaria constante en el tiempo.

Se han desarrollado diferentes trabajos de modelos de equilibrio general dinámicos partiendo de del modelo de Ramsey clásico que representa una economía dinámica cerrada bajo competencia perfecta. En estos modelos se asume que los agentes tienen horizontes de tiempo infinito con perfecta previsión y expectativas racionales. Se tiene un único hogar (consumidor) representativo que vive indefinidamente y maximiza su utilidad intertemporal.

Así las cosas, los modelos de equilibrio general de tipo dinámico basado en el modelo de Ramsey está caracterizado por consumidores cuyo problema es maximizar su función de utilidad total:

$$\text{Max } U_t = \sum_{t=0}^{\infty} \left[\frac{1}{1+e}\right]^t u(C_t) \quad (1.1)$$

Donde $C(t)$ es el consumo agregado en el tiempo t , e es la tasa de preferencia temporal que se asume positiva. La función de utilidad instantánea $u(c)$ satisface las condiciones de Inada es creciente en c y cóncava. Los consumidores tienen preferencia por el consumo en el modelo de Ramsey.

La función de producción de las firmas es:

$$Y(t) = F[K(t), \hat{L}(t)] \quad (1.2)$$

En el modelo original de Ramsey se supone un nivel de tecnología exógeno dado por $T(t) = e^{xt}$, que se asume crece a tasa constante $x \geq 0$, de manera que $\hat{L}(t) = L(t) * T(t)$ La función de producción tiene retornos constantes a escala en K y L , con rendimiento marginales positivos pero decrecientes.

Así como en el caso del consumidor, se tiene una única firma representativa, con un horizonte infinito, que maximiza los beneficios sujetos a un factor de acumulación restrictivo:

$$\text{Max } \pi = [F[K, \hat{L}] - (r + \delta)K - wL] \quad (1.3)^5$$

La inclusión del gobierno es una extensión del modelo original. Se asume que el gobierno compra bienes y servicios G , también hace transferencias a los hogares V , el gasto del gobierno es financiado vía impuestos sobre los salarios, el consumo y las ganancias de las firmas.

El modelo básico, se resuelve de acuerdo a las formas funcionales usadas, basado en un conjunto de condiciones de transversalidad y supuestos sobre los parámetros del modelo. Es importante señalar que los diferentes modelos de equilibrio dinámico de tipo Ramsey difieren según se resuelvan en términos agregados o per cápita. Los modelos son complementados como en el caso de los modelos climáticos, a través de la inclusión de ecuaciones que permiten la integración del clima y otras variables ambientales.

El equilibrio se describe por un sistema dinámico:

⁵ Esta restricción presupuestaria tiene en cuenta los impuestos pagados al gobierno y las transferencias recibidas.

$$\dot{K}_t = Y_t - \delta K_t - C_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} - \delta K_t - C_t \quad (1.4)$$

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = \frac{1}{\theta} (r_t^K - \delta - \rho)$$

$$\dot{C}_t = \frac{C_t}{\theta} [\alpha K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} - \delta - \rho] \quad (1.5)$$

$$\dot{A}_t = g A_t \quad (1.6)$$

Donde \dot{K}_t corresponde a la ecuación de acumulación de capital en función de la ecuación de producción (y_t), la depreciación del capital δ y el consumo c_t . De otro lado g corresponde a la tasa de cambio tecnológico exógeno y ρ corresponde a la tasa de crecimiento de la población.

MODELO DICE – Dynamic Integrated Climate and the Economy

El uso de esos modelos está vinculado con la evaluación y sustentación de medidas de política de mitigación del cambio climático enunciadas previamente. Dentro de los principales aportes a la construcción de la economía del cambio climático se encuentra la propuesta de William Nordhaus (1992) quien fue uno de los primeros en referirse al problema y propuso, lo que se denomina, el modelo dinámico integrado de cambio climático-DICE⁶, el cual *“intenta usar las herramientas económicas modernas para determinar una estrategia eficiente para hacer frente a la amenaza del calentamiento global”* (Nordhaus, 1992. Pág II) inicialmente, fue concebido a partir del modelo Ramsey de crecimiento económico óptimo ajustado, *“para calcular la senda óptima para la acumulación de capital y para la reducción de emisiones”* (Nordhaus, 1992. Pág 4) El modelo permite la agregación de diferentes países, suponiendo la existencia de un único producto (o commodity usado tanto en la producción como en el consumo), el stock de capital, tecnología (estándar y con bajas emisiones) y los niveles de emisiones; a partir del cual, se logra la especificación de respuestas de política diferenciadas (Nordhaus, 2007)

El modelo DICE como se señaló anteriormente tiene como base un modelo de crecimiento económico neoclásico en el cual se establecen decisiones de consumo e inversión y en el que adicionalmente se incluye el capital natural del sistema climático, en el cual *“las concentraciones de GEI puede ser visto como capital negativo y la reducción de emisiones como una inversión que incrementa la cantidad de capital natural”* (Nordhaus 2008. Pág. 33)

El modelo DICE agrega el nivel de producción, capital, tecnologías y emisiones de un conjunto de países, para los cuales se establece una *función de bienestar social* dado un conjunto de preferencias bien definidas; dicha función se caracteriza porque es creciente en el consumo per cápita de cada generación pero con utilidad marginal del consumo decreciente. La tasa pura de preferencia temporal y la elasticidad marginal de la utilidad del consumo, son los parámetros que determinan la importancia de cada generación y

⁶ Posteriormente se desarrolló el modelo RICE.

determinan la tasa de descuento para la elección intertemporal que corresponden al modelo. El consumo en el modelo incluye los servicios ambientales.

Nordhaus (2007b) describe matemáticamente el modelo DICE-2007, para lo cual supone que *“la política económica y climática debe ser diseñada para optimizar el flujo de consumo en el tiempo. El consumo debe ser interpretado como “consumo generalizado” el cual incluye no solo bienes y servicios tradicionales como alimentos y vivienda sino también ítems como ocio, salud y servicios ambientales ”* (Nordhaus. 2007b, Pág. 44); considerando lo anterior el modelo DICE está construido en bloques así:

VARIABLES ECONÓMICAS

$$W = \sum_{t=1}^T \max U[c(t), L(t)]R(t) \quad (1.7)$$

$$R = (1 - P)^{-t} \quad (1.8)$$

$$U[c(t), L(t)] = L(t) \left[\frac{c(t)^{1-\alpha}}{(1-\alpha)} \right] \quad (1.9)$$

$$Q(t) = \Omega(t)[1 - \Lambda(t)]A(t)K(t)^\gamma L(t)^{1-\gamma} \quad (1.10)$$

$$\Omega(t) = 1/[1 + \psi_1 T_{AT}(t) + \psi_1 T_{AT}(t)^2] \quad (1.11)$$

$$\Lambda(t) = \Psi(t)\theta_1(t)\mu(t)^{\theta_2} \quad (1.12)$$

$$Q(t) = C(t) + I(t) \quad (1.13)$$

$$c(t) = C(t)/L(t) \quad (1.14)$$

$$K(t) = I(t) - \delta_K K(t - 1) \quad (1.15)$$

$$E_{Ind}(t) = \sigma(t)[1 - \mu(t)]A(t)K(t)^\gamma L(t)^{1-\gamma} \quad (1.16)$$

$$CCum \leq \sum_{t=0}^T \max E_{Ind}(t) \quad (1.17)$$

$$E(t) = E_{Ind}(t) + E_{Land}(t) \quad (1.18)$$

ECUACIONES GEOFÍSICAS

Ecuaciones del ciclo de carbono

$$M_{AT}(t) = E(t) + \phi_{11}M_{AT}(t - 1) + \phi_{21}M_{UP}(t - 1) \quad (1.19)$$

$$M_{UP}(t) = \phi_{12}M_{AT}(t - 1) + \phi_{22}M_{UP}(t - 1) + \phi_{32}M_{LO}(t - 1) \quad (1.20)$$

$$M_{LO}(t) = \phi_{23}M_{UP}(t - 1) + \phi_{33}M_{LO}(t - 1) \quad (1.21)$$

$$F(t) = \eta \left\{ \log_2 \left[\frac{M_{AT}(t)}{M_{AT}(1750)} \right] \right\} + F_{EX}(t) \quad (1.22)$$

MODELO CLIMÁTICO

$$T_{AT}(t) = T_{AT}(t-1) + \xi_1 \{F(t) - \xi_2 T_{AT}(t-1) - \xi_3 [T_{AT}(t-1) - T_{LO}(t-1)]\} \quad (1.23)$$

$$T_{LO}(t) = T_{LO}(t-1) + \xi_4 \{T_{AT}(t-1) - T_{LO}(t-1)\} \quad (1.24)$$

Costo de reducción con participación incompleta como fracción del costo de reducción con participación completa.

$$\Psi(t) = \varphi_1(t)^{1-\theta_2} \quad (1.25)$$

Variables y parámetros del modelo

$A(t)$ Total factor productividad

$c(t)$ consumo per capita y $C(t)$ consumo

$E_{Land}(t)$ y $E_{Ind}(t)$ emisiones de carbono por uso de tierra e industriales

$E(t)$ emisiones totales de carbono

$F(t), F_{EX}(t)$ fuerza radiativa total y exógena

$I(t), K(t),$ y $L(t)$ inversión, capital, población y proporcional a unidades de trabajo

$M_{AT}(t), M_{up}(t), M_{LO}(t)$ masa de carbono en reserva en atmósfera, capa superior e inferior del océano,

$\mu(t)$ es la tasa de reducción de emisiones

$\Psi(t)$ Participación de costo de marcación (fracción de emisiones no controladas)

$\varphi(t)$ tasa de participación de emisiones

$\sigma(t)$ Razón de emisiones industriales no controladas frente al producto

$\Omega(t)$ función de datos climáticos como fracción del producto mundial

$\Lambda(t)$ función de costos de reducción como fracción del producto mundial

$Q(t)$ producto neto de bienes y servicios, neto de daños y reducciones

$T_{AT}(t), T_{LO}(t)$ temperatura promedio de la superficie de la capa superior e inferior de los océanos

$U[c(t), L(t)]$ funciones de utilidad instantaneas

W función objetivo en valor presente de utilidad

α elasticidad marginal de la utilidad del consumo

CC consumo máximo de combustibles fósiles

γ elasticidad de producción con respecto al capital

δ_k tasa de depreciación del capital

$\phi_{11}, \phi_{21}, \phi_{22}, \phi_{32}, \phi_{12}, \phi_{33}, \phi_{23}$, parametros del ciclo de carbono

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ parametros de ecuaciones climáticas

ψ_1, ψ_2 parametros en la función de daño

ρ tasa social pura de preferencia por tiempo

$R(t)$ tasa social de descuento de preferencia por tiempo

T_{max} máximo período del modelo

θ_1, θ_2 parametros de la función de costos de reducción

Nordhaus (2007) como en los modelos neoclásicos de crecimiento económico, asume unas dotaciones iniciales de capital y trabajo, con una serie de variables exógenas: crecimiento de la población y el cambio tecnológico, el cual se asume neutral en el sentido de Hicks.

La función de producción asociada es una Cobb- Douglas, en función de trabajo, capital y energía, con relación al último factor, puede provenir de fuentes basadas en carbono o libres de carbono. En el modelo, la oferta de combustibles fósiles es limitada y la sustitución entre combustibles es más cara pasando de combustible no fósil a fósil dadas las fuentes limitadas y las restricciones a las emisiones, esa transición es modelada en la ecuación (9). De otro lado, a través de la inclusión de tecnología de sustitución de energía origen fósil a energía sin carbono, que tiene un precio inicial alto pero que con el tiempo es decreciente.

La inclusión de relaciones físicas en el modelo, incorporan los factores que afectan el clima, corresponden al elemento distintivo del modelo, corresponde a “*ciclo de carbono, una ecuación de forzamiento radiativo, ecuaciones de cambio climático y relaciones de clima-daño*” (Nordhaus, 2008, Pág. 35). Es importante indicar que del grupo de GEI el único sujeto a control es el CO₂ mientras que los demás son exógenos. Es importante tener en cuenta la consideración sobre la forma en que se proyectan las emisiones, en este caso como una función de la producción total, la inclusión de una variable temporal que relaciona las emisiones con el producto y la tasa de control de emisiones.

Las ecuaciones del modelo corresponden a relaciones simples entre variables y/o agregaciones de estimaciones sobre otras variables, tales como temperatura media de la superficie, las reservas de carbono en la atmosfera, en la superficie oceánica y de la tierra y en los océanos profundos. Señala Nordhaus (2008) que hay un incremento no lineal en los daños ocasionados por el cambio climático y que de otro lado el impacto del mismo es mayor en países pobres y tropicales; lo anterior dada las restricciones financieras para atender la problemática y por la vulnerabilidad de sus economías.

El modelo DICE se soluciona como un problema de optimización, no como un problema recursivo

En la tabla 1.5 se presentan la descripción de los escenarios y los resultados del modelo DICE, a partir de la cual evalúa la eficiencia de las políticas, basado en 7 escenarios, comparando los costos ambientales (en valor presente) frente a los costos (en valor presente de reducción) y determina que una política tiene impacto negativo cuando la relación costo beneficio es menor a 1; es importante tener en cuenta que supone que las políticas son implementadas eficientemente y con participación completa, y que cuando fallan estos supuestos, esa relación podría reducirse.

Tabla 1-5 Descripción y resultados de los escenarios de política en el modelo DICE

Escenario de política	Descripción del escenario	Beneficios (Daños Reducidos)*	Costos de Reducción ^{n*7}	Relación Costo/Beneficio
Sin control	Bajo este escenario, los controles y la optimización del nivel de emisiones se hace en 250 años (a partir de 2005) sin que previamente se establezcan medidas de control y/o mitigación	3.69	1.55	2.4
Política óptima	Las emisiones y precios del Carbono son fijadas en sus niveles óptimos entre 2010-2019. Las emisiones son fijadas para maximizar el valor del consumo económico neto... se encuentra una trayectoria para la reducción de las emisiones que equilibre los costos actuales de reducción frente a los daños causados en el futuro por el cambio climático (Nordhaus, 2007.	5.23	2.16	2.4

⁷ * Cifras en USD Trillones de 2005.

	Pág. 68) Este caso corresponde a un óptimo hipotético que puede ser usado como referencia para la evaluación de eficiencia de otras alternativas.			
Control Emisiones	a. CO2 concentraciones se limitan a 1.5 x pre-industrial (420 ppm)	12.60	27.20	0.5
	b. CO2 concentraciones se limitan a 2 x pre-industrial (560 ppm)	6.57	3.90	1.7
	c. CO2 concentraciones se limitan a 2.5 x pre-industrial (700 ppm)	5.24	2.16	2.4

Limites a incrementos de temperatura a. 1½ °C. b. 2 °C c. 2½ °C d. 3 °C	En este escenario, se consideran cuatro posibilidades para limitar el incremento de la temperatura desde 1.5 °C hasta 3°C frente a los niveles de 1990. En este caso, el objetivo del escenario es visibilizar la dicotomía entre altos costos y los daños, en este caso, el objetivo puede cumplirse a través de variables intermedias antes que en función de limitaciones a las emisiones o concentraciones, Finalmente indica Nordhaus (2007b) que el anterior y el presente escenario resultan siendo deficientes por la falta de aproximaciones sobre los daños, tal que al principio de la trayectoria la reducción de emisiones es muy baja.	12.60	27.03	0.5
		9.45	11.25	0.8
		7.22	5.24	1.4
		5.88	2.86	2.1
Protocolo de Kioto a. Con Estados Unidos b. Sin Estados Unidos c. Fortalecimiento	Existen diferentes alternativas de aplicación del protocolo de Kioto, las cuales a partir del análisis costo eficiente de Nordhaus, son altamente costo-inefectivas e ineficientes	1.17	0.54	2.2
		0.12	0.02	5.0
		6.54	5.82	1.1

Propuestas Ambiciosas a. Informe Stern	En el conjunto de propuestas de reducción de GEI, se encuentra el informe Stern que considera una tasa de interés real para las inversiones climáticas y se usa una tasa diferente para otras inversiones. Así mismo, se refiere a la propuesta de Al Gore de reducir las emisiones en 2050 en un 90%; concluye en este caso que al igual que el protocolo de Kioto, son políticas muy costosas e ineficientes	13.53	27.70	0.5
b. Propuesta Gore		12.50	33.86	0.4
Tecnologías de transición de bajo costo	En este escenario se ha desarrollado una tecnología o fuente de energía que permite la transición del uso de combustibles fósiles o de tecnologías intensivas en carbono a unos costos actuales bajos.	17.63	0.44	39.9

MODELO PAGE2002 - Informe Stern

De otro lado, Nicholas Stern (2006) a solicitud del gobierno británico presentó el *Informe Stern* en el que aborda el problema del cambio climático con un análisis sobre los riesgos y la incertidumbre inherentes, y a partir de esto hace consideraciones sobre las implicaciones de política que se requiere para la adopción de medidas para combatir el cambio climático; al respecto, señala que es importante comprender y cuantificar los riesgos, aun cuando exista incertidumbre sobre dónde, cuánto y cuándo serán los impactos que genere el cambio climático, en su enfoque también considera problemas inter e intra generacionales, con las respectivas consideraciones éticas.

También señala que en un escenario (poco probable) en el que los riesgos de altas concentraciones sean bajos, las acciones que se adopten generarían beneficios un mundo más limpio, conservando la biodiversidad⁸ y más atractivo por ende, a un costo moderado⁹; por lo cual hay un amplio rango de oportunidades para el crecimiento y el desarrollo.

Tabla 1-6 Cambios en temperatura dados niveles de concentración de GEI.

← 5% ←	400ppm	CO ₂ e 95%	-----	-----	
	450	Ppm CO ₂ e	-----	-----	→
	←		550ppm	-	-----
	←		O ₂ e	-	_ _ _ _ _ →
	←		65	ppm CO ₂ e	→
		←	0	750ppm CO ₂ e	→
Cambio eventual en la temperatura (relativo a niveles preindustriales)					
0°C	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C

Fuente: Informe Stern. Tabla 1.1. (Stern 2007, 16); Meinshausen 2006; Wigley and Raper 2001; Murpehy et al. 2004 citado en Stern (2008)

En el Informe Stern (2006) se estableció una relación entre los niveles de concentraciones de GEI con los cambios en la temperatura, junto con la probabilidad (%) de exceder el incremento en equilibrio de la temperatura. La probabilidad es creciente con relación al incremento en los niveles de concentración, anota Stern que los datos no consideran la pérdida de sumideros de carbono, como el amazonas, la liberación del metano del permafrost y la menor capacidad de absorción de los océanos; no obstante estos son utilizados para las estimaciones de los costos de mitigación. Con un nivel de concentración actual aproximado de 430 ppm, fijar un límite de estabilización de 550 ppm CO₂e (1.5°C a 5.3°C) puede tener costos asociados de 1% del PIB Mundial junto a fuertes y oportunas políticas (Stern, 2008).

Con relación a las reducciones en los niveles de emisión que se requieren deben ser mayores en los países ricos frente a los países pobres, y en este sentido, las emisiones provenientes del sector energético y transporte deben ser cercanas a cero, para lo cual, se necesitan cambios importantes (Stern, 2008).

Stern (2006) usa el modelo PAGE2002 desarrollado por Hope (2006) como una versión mejorada del modelo PAGE95, básicamente se modela la relaciones entre el clima y la economía, a través de la construcción de distribuciones de probabilidad sobre una amplio conjunto de variables. La fuente de información para los parámetros del modelo proviene del tercer reporte del IPCC.

⁸ Stern (2008) señala que ese caso habría más biodiversidad, no obstante, se considera más apropiado hablar de conservación.

⁹ En este punto se encuentra que autores como Tickell (2009) señalan que en el mundo hay inversiones, cercanas a los costos estimados por Stern, por ejemplo, en promoción del uso de combustibles fósiles, que podrían dedicarse a la mitigación del cambio climático

El modelo plantea un conjunto de ecuaciones para el exceso de concentración de GEI y otros elementos relacionados con el clima. Asimismo estima los niveles de los impactos del calentamiento global en dos sectores de daños: económicos y no económicos, a nivel sectorial y nivel regional. El modelo calcula el PIB para cada período de análisis y a partir de esos cálculos se estima la tasa de crecimiento. *“los impactos son computados para cada región, sector y período de análisis como una poderosa función del incremento de la temperatura regional sobre un nivel tolerable”* (Stern, 2006. Pág. 26).

El modelo también tiene ecuaciones para definir una política adaptativa y los costos de la implementación de política adaptativa o preventiva. Utiliza diferentes parámetros para ajustar la incertidumbre en el crecimiento económico y medidas de política entre otras donde cada parámetro es representado por una función de distribución de probabilidad.

El modelo PAGE2002 solo considera costos directos de la prevención de emisiones de GEI, es decir, no tiene en cuenta los beneficios adicionales de una política climática.

MODELO HYBGED

Proenca y Aubyn (2013) desarrollaron el modelo híbrido de equilibrio general para soportar políticas climáticas energéticas HYBGED, es un modelo que integra bajo el enfoque de problema complementario mixto (MCP) modelos *Top-Down* (modelos económicos) y *Bottom-Up* (modelos tecnológicos) para un conjunto de sectores económicos altamente desagregados, aplicado en una economía abierta de escala pequeña, que permite el análisis de política energética y climática. La preocupación principal de los autores es construir una herramienta analítica robusta. Esa implementación de modelos híbridos puede ser bajo tres aproximaciones:

- Soft-link* Es la integración mediante un proceso iterativo de inputs y outputs de modelos *Top-Down*
- Forma reducida* Se busca vincular un modelo a otro de manera reducida, especialmente modelos *Bottom-Up* a un modelo CGE Simplificado.
- MCP* Es la integración de un modelo *Bottom-Up* y un modelo *Top-Down*, incorporando el marco tecnológico del primero en el segundo.

Los autores señalan que el modelo *“se construye sobre un marco completo de optimización intertemporal de perfecta previsión en el contexto del modelo neoclásico de crecimiento óptimo de Ramsey”* (Proenca y Aubyn, 2013, Pág. 3)

El modelo HybGED considera como fuentes de crecimiento: el incremento de la oferta de trabajo disponible en función del crecimiento poblacional y los cambios de productividad, el crecimiento de los stock de recursos naturales, la acumulación de capital (ahorro-inversión), cambios tecnológicos en la producción y la eficiencia energética y la disponibilidad del “backstop” de tecnologías de oferta de energía.

$$W = \sum_{t=1}^T \max \left[\frac{1}{1+\rho} \right] U(C_t) \quad (1.26)$$

Con ρ preferencia por tiempo o tasa de descuento.

$$U(C)_t = \frac{c_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta} ; \psi = \frac{1}{\theta} \quad (1.27)$$

Se tiene las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} \text{a. } C(t) + I(t) &= F(K_t, L_t) \\ \text{b. } K_{t+1} &= (1 - \delta)K_t + I_t \text{ con } I_t \geq 0; K_0 = \overline{K_0} \end{aligned} \quad (1.28)$$

El comportamiento de las firmas, se define como una función tipo Cobb-Douglas con progreso tecnológico neutral en el sentido de Harrod. El modelo HybGED comprende 18 sectores, de los cuales cuatro se relacionan con el sector energía.

$$\text{a. } Y = F(K_t, L_t, E_t, M_t) = CES(K_t, L_t, E_t, M_t) \quad (1.29)$$

La función de producción tiene tres niveles, el primero, es divide los mercados domésticos y externos, en el segundo nivel se tiene la sustitución entre el agregado energético y el valor agregado, en el último nivel se tiene una combinación de capital y trabajo de tipo Cobb-Douglas.

Las firmas eligen capital y trabajo para maximizar las ganancias por período.

La función de beneficio unitaria para el agregado no energético es:

$$\begin{aligned} \Pi_{i,t}^Y &= \left(\theta_i^X (p_{i,t}^X)^{1-\eta} + (1 - \theta_i^X) p_{i,t}^{1-\eta} \right)^{\frac{1}{1-\eta}} - \sum_{j \notin E} \theta_{ji} p_{j,t}^A - \theta_i^{KLE} \left[\theta_i^E (p_{i,t}^E)^{1-\sigma_{KLE}} + \right. \\ &\left. (1 - \theta_i^E) \left(W_t^{\theta_i^L} r_t^{k^{1-\theta_i^L}} \right)^{1-\sigma_{KLE}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{KLE}}} \end{aligned} \quad (1.30)$$

$$\forall_{i,j} \notin E$$

θ_i^X Es la participación del valor de las exportaciones al resto del mundo en el sector i

θ_{ji} La proporción del costo de los input intermedios j no energético en el sector i

θ_i^{KLE} La proporción del costo de la función agregada KLE¹⁰ en el sector i

θ_i^E La proporción del costo de la energía en la función agregada KLE del sector i

θ_i^L La proporción del costo del trabajo en el sector i

η Es la elasticidad de transformación entre la producción del mercado doméstico y la producción para el mercado de exportaciones.

σ_{KLE} Es la elasticidad de sustitución entre el agregado de energía y el valor agregado en la producción no energética.

La función de beneficio unitaria para el agregado energético es:

¹⁰ KLE corresponde a la función agregada de Capital, trabajo y energía.

$$\begin{aligned} \Pi_{i,t}^E = & p_{i,t}^E - \\ & \left\{ \theta_i^{ELE} (p_{ELE,t}^A)^{1-\sigma_{ELE}} + \right. \\ & \left. (1 - \theta_i^{ELE}) \left[\theta_i^{COA} (p_{COA,t}^A)^{1-\sigma_{COA}} + (1 - \theta_i^{COA}) (\prod_{j \in LQ} (p_{j,t}^A)^{\beta_{ji}})^{1-\sigma_{COA}} \right]^{\frac{1-\sigma_{ELE}}{1-\sigma_{COA}}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{ELE}}} \end{aligned} \quad (1.31)$$

θ_i^{ELE} La proporción del costo de la electricidad en la demanda de energía por sector i

θ_i^{COA} La proporción del costo del carbón en la demanda de combustibles fósiles por sector i

β_{ji} Es la participación del combustible fósil líquido j en la demanda de combustible líquido por el sector i

σ_{ELE} Es la elasticidad de sustitución entre bienes energéticos eléctricos y no eléctricos (agregado de combustibles fósiles) en la producción no energética.

σ_{COA} Es la elasticidad de sustitución entre el carbón y el compuesto de combustibles fósiles líquidos en la producción no energética.

La función de beneficios unitaria de la tecnología de generación de energía tec

$$\begin{aligned} \Pi_{tec,t}^{ELE} = & \left(\theta_{ELE}^x (p_{ELE,t}^x)^{1-\eta} + (1 - \theta_{ELE}^x) p_{ELE,t}^{1-\eta} \right)^{\frac{1}{1-\eta}} - (a_{tec}^L w_t + a_{tec}^K r_t^K + \sum_{j \notin E} a_{jtec} p_{j,t}^A + \\ & \sum_i a_{itec} p_{i,t}^A + \mu_{tec,t}) \end{aligned} \quad (1.32)$$

$$\forall_i \in N, \forall_{i,j} \notin E$$

θ_{ELE}^x Es la participación de las exportaciones del resto del mundo en el sector ELE.

a_{tec}^L Es el coeficiente del input trabajo en la producción de electricidad por la tecnología tec .

a_{tec}^K Es el coeficiente del input capital en la producción de electricidad por la tecnología tec .

a_{jtec} Es el coeficiente del input de bienes no energéticos en la producción de electricidad por la tecnología tec .

a_{itec} Es el coeficiente del input de recursos naturales (combustibles fósiles y recursos renovables) en la producción de electricidad por la tecnología tec .

Estructura de Demanda de Hogares Final.

En este modelo se tiene un agente representativo con un horizonte temporal de vida infinito que maximiza su utilidad descrita por una estructura anidada intertemporal, intratemporal y de consumo.

$$\Pi_t^U = P_t^u - [\theta_U w_t^{1-\sigma_U} + (1 - \theta_U)(p_t^C)^{1-\sigma_U}]^{\frac{1}{1-\sigma_U}} \quad (1.33)$$

θ_u Es el valor de la participación del ocio en la utilidad intertemporal agregada

σ_u Es la elasticidad de sustitución compensada entre ocio y consumo final.

La función unitaria de beneficios para la demanda de consumidor final de los hogares.

$$\Pi_t^C = p_t^C - \left\{ \theta_c \left[\prod_{i \in E} (p_{i,t}^A)^{\gamma_i} \right]^{1-\sigma_c} + (1 - \theta_c) \left[\theta_{ELE}^C (P_{ELE,t})^{-\sigma_{ELE}^C} + (1 - \theta_{ELE}^C) \left(\prod_{j \in FF} (p_{j,t}^A)^{\varphi_j} \right)^{1-\sigma_{ELE}^C} \right]^{\frac{1-\sigma_c}{1-\sigma_{ELE}^C}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_c}} \quad (1.34)$$

$\forall_i \notin E, \forall_i \in FF$

θ_c Es la proporción del costo del compuesto no energético en el consumo agregado de los hogares

θ_{ELE}^C Es la proporción del costo de la electricidad en la demanda de energía agregada de los hogares.

γ_i La proporción del costo del bien i no energético en la demanda doméstica no energética.

φ_i Es la participación en los costos de los combustibles fósiles en la demanda de energía de los hogares que no eléctrica.

σ_c Es la elasticidad de sustitución entre los bienes energéticos y no energéticos en el consumo de los hogares..

σ_{ELE}^C Es la elasticidad de sustitución entre los bienes eléctricos y no electricos en el consumo de energía de los hogares.

Condición de equilibrio del ingreso:

$$\sum_{t=0}^T C_t p_t^C = p_t^K \bar{K}_0 + \sum_{t=0}^T w_t \bar{L}_t + \sum_{t=0}^T \sum_i n_{i,t} \bar{N}_{i,t} + \sum_{t=0}^T \sum_{tec} \mu_{tec,t} \overline{ELE}_{tec,t} - p_{T+1}^K K_{T+1} + \sum_{t=0}^T \bar{B}_t$$

\bar{K}_0 es la dotación de capital inicial agregado (exógena)

\bar{L}_t es la dotación de trabajo agregado en unidades eficientes en el período t (exógena)

$\bar{N}_{i,t}$ es la dotación inicial de recursos naturales i en el período t (exógena)

$\overline{ELE}_{tec,t}$ es la capacidad de generación para la tecnología tec en el período t (exogena)

\overline{B}_t es el deficit o superavit de la balaza de pagos exógeno en el período t.

Como se señaló inicialmente se tiene unos supuestos sobre el comercio internacional, que se describen como:

$$\Pi_{i,t}^A = P_{i,t}^A - \left[(\theta_i^A p_{i,t}^{1-\sigma_A}) (1 - \theta_i^A) (P_{i,t}^M)^{1-\sigma_A} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_A}} \quad (1.35)$$

θ_i^A es la participación en el costo de la variedad doméstica i en el compuesto armington del bien,

σ_A es la elasticidad de sustitución Armington entre las variedades domésticas e importadas del mismo bien.

Finalmente, los autores introducen la dinámica del modelo, correspondiente a la formación de capital, inversión y costos de ajuste.

$$\Pi_t^K = P_t^K - r_t^K - (1 - \delta_t) P_{t+1}^K \quad (1.36)$$

Donde, δ_t es la tasa exógena de depreciación en t.

La condición intertemporal de inversión es

$$\Pi_t^I = \sum_i \theta_i^I P_{i,t}^A - P_{t+1}^K \quad (1.37)$$

Donde θ_i^I es la participación en el costo del bien i en la inversión.

El modelo considera las medidas adoptadas bajo el marco del Protocolo de Kioto, con relación a la medición de los GEI a través del potencial de calentamiento global (GWP), aunque su análisis se enfoca en las emisiones de CO₂, éstas se incluyen como un coeficiente (Leontief) en las funciones de producción y consumo. La política de reducción de misión se modela a través de límites específicos, para lo cual, el modelo determina un precio sombra (como precio por permisos de emisiones o como impuestos al carbono) que es igual al costo marginal de reducciones.

La función unitaria de beneficio para el bien compuesto del bien Armington se puede reescribir como

$$\Pi_{i,t}^A = P_{i,t}^A - \left[(\theta_i^A p_{i,t}^{1-\sigma_A}) (1 - \theta_i^A) (P_{i,t}^M)^{1-\sigma_A} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_A}} + a_i^{CO_2} p_t^{CO_2} \quad (1.38)$$

$a_i^{CO_2}$ es coeficiente de emisiones de carbono para el combustible fósil i ($i \in FF$)

Para este modelo no se presentan resultados de la implementación, se propone como estudio posterior su implementación

MODELO WITCH – World Induced technical change Hybrid model)

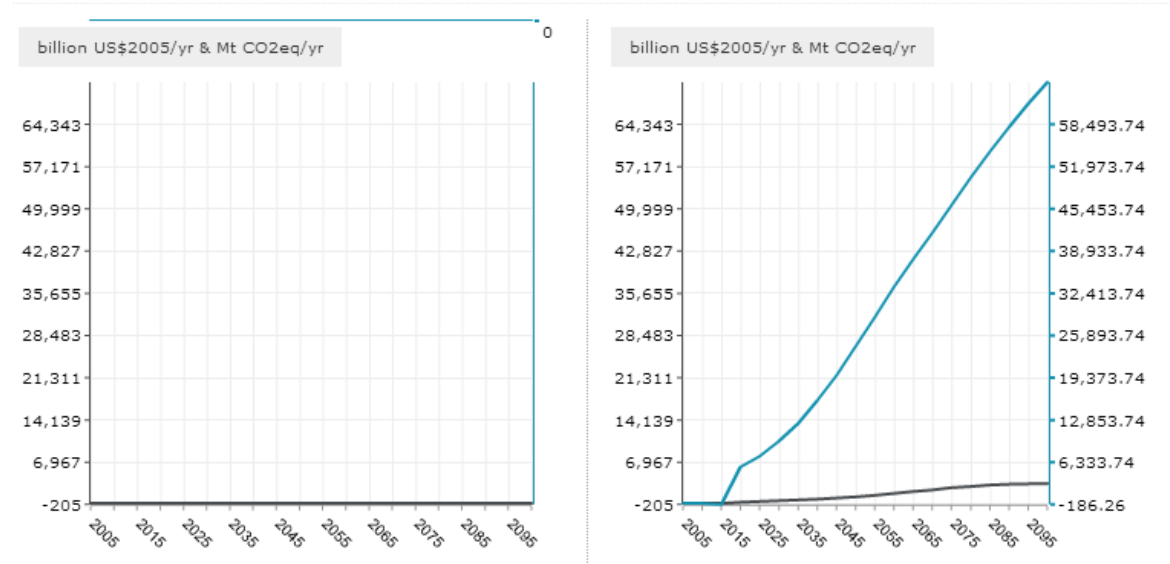
El modelo WITCH, que igual que en el caso de Nordhaus y Stern, corresponde a un modelo de crecimiento óptimo, inter temporal, con un conjunto de múltiples externalidades; entre ellas, características climáticas y tecnología. Incluye también escenarios de política en cambio climático- impuestos y comercio de emisiones, en ambos casos, los ingresos son reciclados en la economía y son eficientes, en tanto, igualan los costos de reducción regionales (a través del impuesto y del precio del permiso respectivamente) no obstante son diferentes en el sentido que el sistema de cuotas permite transferencias financieras proporcionales a la asignación de permisos. El modelo supone, que en un escenario de estabilización de 450 ppm es permitido incluir opciones que permitan absorber CO₂e en la atmósfera y tecnologías negativas en carbono son clave para alcanzar niveles bajos de estabilización, pero son altamente especulativas. *“Alcanzar objetivos rigurosos de estabilización, compatibles con incrementos de temperatura por debajo del 2C° por medio de impuestos de carbono homogéneos a través de las regiones sin distribución, similares a los propuestos a nivel de política por los países industrializados, es incompatible con una razonable definición de esfuerzo justo. Como resultado, es poco probable la aprobación por parte de los países en desarrollo asiáticos”* (Masseti y Tavonni, 2012. Pág. 4)

Este modelo tiene una característica distintiva y corresponde a la incorporación de cambio tecnológico endógeno y puede ser inducido a través de política climática, considera *spillovers* a nivel global. Tiene en cuenta, las alternativas de aprender haciendo, investigación y desarrollado relacionados con eficiencia energética y reducción de costos.

El modelo agrega el mundo en 12 regiones basado en aspectos como geografía, ingreso y estructura de la demanda de energía; la interacción entre las regiones de las estrategias de mitigación son modeladas a través de teoría de juegos – juegos no cooperativos de Nash –

El sistema climático es modelado en una función de daño en la economía, a través de los impactos que genera el cambio en el mismo.

Este modelo, presenta sus resultados en función de los costos de política (y los mercados de carbono (precio permiso por tonelada de CO₂ eq y reducciones de emisiones por año) y de otro lado costos de política (costo de reducción por año, en términos de pérdidas en consumo, frente al total de emisiones por año). El modelo presenta escenarios de no acción, acción regional débil, limitar crecimiento de emisiones a 500 ppm y 450 ppm, con los resultados hasta 2095

Figura 1-11: Resultados escenarios modelos Witch escenarios no acción y compromisos débiles**Tabla 1-7** Resultados escenarios modelos Witch escenarios no acción y compromisos débiles

Escenarios/ Variables	No acción	Compromisos débiles
Comercio Emisiones	No	No
Asignación Permisos	No	No
Pérdida Consumo (2005-2015)	0	197.09
Pérdida Consumo (2015-2095)*	0	3409.66
Cantidad Permisos Transados	0	0
Precio Tonelada CO2 eq (2095) Dólar Base 2005	0	143.05
Toneladas CO2 eq (Reducción)	0	65008.43

Fuente: Fondazione Eni Enrico Mattei. Consulta vía web. * Cifras en billones de USD base 2005.

Figura 1-12: Resultados escenarios modelos Witch – concentraciones 450 ppm

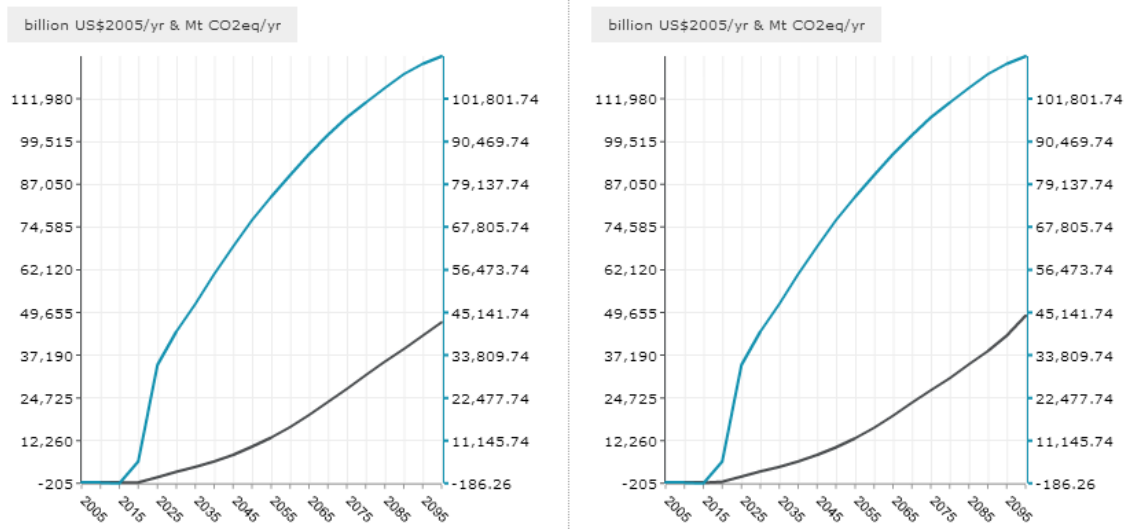


Tabla 1-8 Resultados escenarios modelos Witch – concentraciones 450 ppm

Escenarios/ Variables	Concentraciones 450 ppm	Concentraciones 450 ppm	Concentraciones 500 ppm
Comercio Emisiones	No	Sí	No
Asignación Permisos	No	Sí	No
Pérdida Consumo (2005-2015)	115.95	278.11	126.9
Pérdida Consumo (2015-2095)*	46800.14	48771.98	34714.13
Cantidad Permisos Transados	0	-0.22	0
Precio Tonelada CO2 eq (2095) Dólar Base 2005	9320.02	9462.6	143.05
Toneladas CO2 eq (Reducción)	113127.56	113126.54	111498.36

Fuente: Fondazione Eni Enrico Mattei. Consulta vía web. * Cifras en billones de USD base 2005.

MEG4C - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - COLOMBIA.

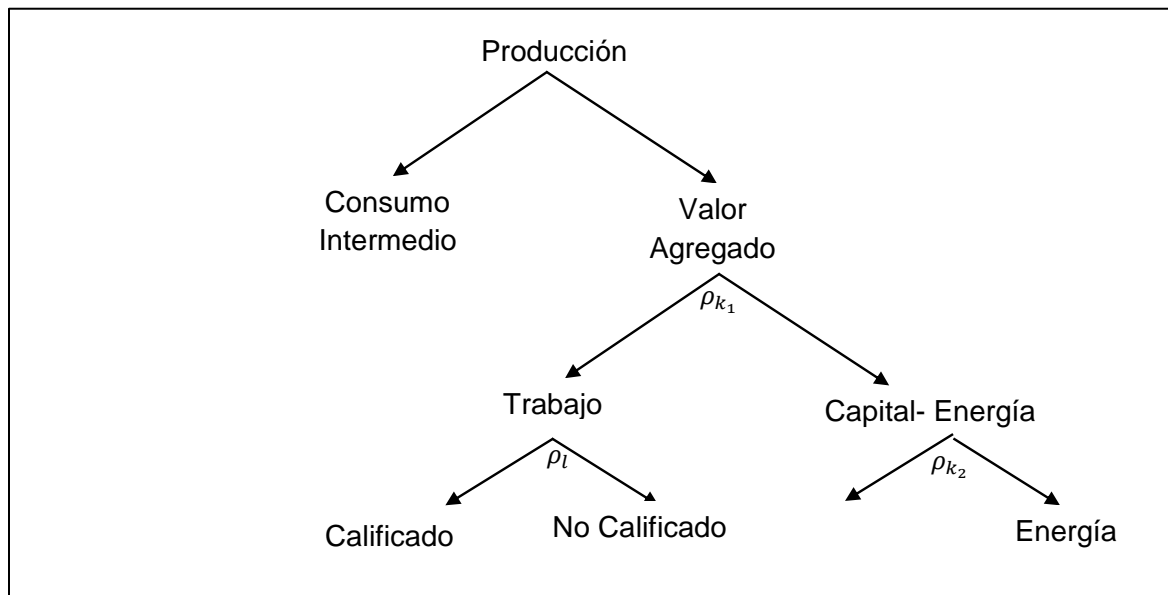
En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación desarrolló un modelo de equilibrio general computable para el análisis de los impactos económicos del cambio climático para Colombia¹¹, denominado MEG4C, el cual está basado en el modelo GREEN – General Equilibrium Environmental Model- desarrollado por la OECD; el modelo usa las variables que pertenecen a la Matriz de Contabilidad Social –MCS- para Colombia de 2005 desarrollada por Corredor y Pardo (2008) (Citado en Documento DNP, 2012); este modelo sólo analiza los cambios en el PIB Potencial en escenarios con y sin cambio climático, al considerar los efectos del cambio climático, pero no incorpora medidas de mitigación del cambio climático.

¹¹ El modelo no considera costos asociados a fenómenos naturales, ni impactos en salud, mortalidad, servicios del ecosistema o recursos hídricos.

A diferencia del modelo MEG4C, la propuesta del presente documento es mostrar los resultados de la inclusión de diferentes medidas de mitigación en la economía colombiana, para ello, al igual que en el modelo MEG4C se usa la MCS de Colombia para 2005 y se incluyen las emisiones de GEI por sector, de otro lado, el mercado laboral se considera de manera agregada sin diferencia entre trabajo formal e informal.

La estructura del modelo MEG4C no considera sustitución entre consumo intermedio y valor agregado, el trabajo y capital-energía con sustitutos imperfectos. Supone sustitución imperfecta entre dos categorías de trabajo – calificado y no calificado – así como un nivel de desempleo estructural del 7.5%.

Figura 1-13: Estructura de producción en el modelo MEG4C



Fuente: SDAS-DNP Citado en DNP (2012)

ECUACIONES DEL MODELO:

$$Y_i = [\psi_i^D D_i^{1+\eta} + (1 - \psi_i^D) E_i^{1+\eta}]^{\frac{1}{1+\eta}} \quad (1.39)$$

$$A_i = \left[\omega_i M_i^{1-\frac{1}{\sigma}} + (1 - \omega_i) D_i^{1+\frac{1}{\sigma}} \right]^{1/(1+\frac{1}{\sigma})} \quad (1.40)$$

$$U_{max} = \sum_i \mu_i \ln(C_i - \theta_i) + \mu_s \ln\left(\frac{S}{P}\right) \quad (1.41)$$

$$\text{s.a } \sum_i PC_i C_i + S = YD$$

$$\mu_i + \mu_s = 1$$

La introducción de la dinámica del modelo, asume que existen dos tipos de capital—viejo - que corresponde con el capital instalado en el período anterior y el nuevo que se genera por la inversión (que se asume igual al ahorro)

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t \quad (1.42)$$

Entre otros supuestos se asume que los impuestos se ajustan al determinarse exógenamente el ahorro del gobierno. Construyeron un escenario de tendencia sobre el cual se evaluaron estímulos, que fueron incorporados posteriormente, para la evaluación de los cambios en los rendimientos de los sectores de producción y así el análisis del impacto del cambio climático se obtuvo a partir de los cambios del PIB potencial con relación al PIB de la línea base, el cual muestra una reducción en el PIB potencial de 2.54% a 2.52% para el total de la economía, los cambios por sector son diversos, siendo el sector agrícola uno de los más afectados.

Asimismo en las conclusiones del modelo, en el análisis sobre los consumidores, se señala que los hogares de menores gastos sufren un mayor impacto y en términos de ingreso se evidencia el mismo efecto, incluso se señala un incremento de los niveles de pobreza e indigencia.¹²¹³

MODELO DANTE

El modelo DANTE es una modelo de equilibrio general aplicado, tipo Ramsey, que toma como base un modelo aplicado en Holanda para la evaluación de política de mitigación del cambio climático y un modelo desarrollado en el MIT que considera aspectos climáticos para la valoración de los costos ambientales.

DANTE es un modelo para el caso de la política climática en España desarrollado por González (2006) en el que la política de cambio climático está representada por un mercado de emisiones de permisos, donde los permisos de emisión está regulado por el gobierno. Los permisos de emisión son insumos necesarios para la producción.

Considera las emisiones de acuerdo a la clasificación presentada por el protocolo de Kioto, sin embargo las agrupa en dos bloques las emisiones de combustión y las emisiones de proceso. Es un modelo de un único consumidor representativo dueño de los factores de producción. Tiene en cuenta el comercio internacional a través de un agregado.

Las emisiones de combustión están identificadas mediante parámetros que representan los insumos: carbón, petróleo y gas natural, mientras que las emisiones de proceso están asociadas a los coeficientes de producción. El modelo incluye tres sectores (No energéticos, Energéticos y Electricidad) cuyas funciones de producción son funciones anidadas (CES, Cobb-Douglas y Leontief).

¹² Considérese que este modelo evalúa los costos del cambio climático solamente no los resultados de políticas de mitigación.

¹³ El incremento en estos niveles es atribuible a un incremento en los precios de los alimentos.

Para modelar a los consumidores se maximiza la utilidad total entendida como “La agregación en el tiempo de la utilidad en cada uno de los períodos” esto a través de una función tipo CES que permite modelar las preferencias intertemporales. La tasa de ahorro es una elección de los consumidores. Al igual que en el caso de la función de producción, la utilidad se modela como funciones anidadas para GEI’s y en el consumo entre Energía y Bienes y servicios.

De otro lado el gobierno no tiene déficit y su nivel de gasto es constante. Su función es de intermediario. El comercio internacional sigue los supuestos de economía pequeña, es decir precio aceptante y el supuesto de Armington. Ambos sectores se modelan con funciones tipo CES.

Las emisiones totales son la suma de las emisiones de proceso y combustión, de los productores y consumidores, corregidas por parámetros de coeficiencia, que sigue una función logística. La política ambiental se enmarca en el comercio de emisiones perfecto en el que el gobierno fija un nivel de emisiones objetivo, subasta los permisos correspondientes en el mercado de manera que las emisiones totales sean iguales a las objetivos y posteriormente se realiza el intercambio.

La función de producción se describe como

$$Y_{j,t} = f(y_{1,j,t}^{id}, \dots, y_{i,j,t}^{id}; k_{j,t}; l_{j,t}; E_{j,t}^p; \sigma^y, \sigma^{kel}, \dots, \sigma^{e2}) \quad (1.43)$$

La función de utilidad

$$U_t = f(c_{1,t}, \dots, c_{j,t}; \sigma^c, \sigma^k, \dots, \sigma^f) \quad (1.44)$$

El gobierno

$$\bar{G}_t = CES(G_{1,t}, \dots, G_{j,t}) \quad (1.45)$$

Comercio Internacional – La inclusión del sector externo, se hace basado en dos supuestos: i) una economía abierta y pequeña – es decir, no hay capacidad para influir en los precios mundiales y las necesidades de exportación e importación se pueden satisfacer con el comercio internacional y ii) supuesto de Armington – los bienes domésticos y extranjeros son sustitutos imperfectos.

$$y_{j,t}^{ts} = CES(y_{j,t}, M_{j,t}; \sigma^A) \quad (1.46)$$

$$y_{j,t}^{td} = CED(y_{j,t}^D, x_{j,t}; \sigma^T) \quad (1.47)$$

Crecimiento y progreso tecnológico

$$\bar{L}_{t+1} = \bar{L}_t(1 + g) \quad (1.48)$$

$$K_{t+1} = K_t(1 - \delta) + 1 \quad (1.49)$$

$$\frac{I_t}{I_{t+1}} = \frac{U'_t \text{priv}}{U'_{t-1} \text{priv}}$$

Emisiones y políticas ambientales.

Productores

$$E_t^p = \varphi_t^c [\sum_{e=0}^3 \alpha_e \sum_{j=1}^J y_{e,j,t}^{ID}] + \varphi_t^p (\sum_{j=1}^J x_j \cdot y_{j,t}) \tag{1.50}$$

Consumidores

$$E_t^p = \varphi_t^c (y_e + C_{e,t}) + \varphi_t^p (z \cdot \sum_{j=1}^J c_{j,t}) \tag{1.51}$$

Donde α_e y y_e Emisiones de carbono por combustión asociadas a través de coeficientes y x_z Emisiones de carbono por proceso asociados a los outputs a través de coeficientes.

Tabla 1-9 Comparación modelos cambio climático referenciados.

MODELO	OBJETO ANALISIS	RESULTADOS
DICE/RICE	Costo política de mitigación usando un análisis la economía y definiendo un modelo climático a nivel mundial/regional.	Modela cambios en variables climáticas y los costos asociados, dinámicamente incorpora los costos de reducción asociados a niveles dados en las concentraciones de emisiones. La solución del modelo es la optimización de la utilidad intergeneracional. El supuesto más sensible se refiere a la tasa de descuento intratemporal ya que supone que los cambios intergeneracionales no afecta los
PAGE2002	Costo política de mitigación usando un análisis la economía y definiendo un modelo climático a nivel mundial.	En este modelo, es similar al modelo DICE, hace una estimación de los excesos de concentraciones de GEI para posteriormente estimar los daños económicos y no económicos. Posteriormente el modelo evalúa los costos de implementación de política de forma directa.
HYBGED	Análisis de implementación de política energética y de cambio climático para economías pequeñas como Portugal en el marco de un modelo de equilibrio general dinámico.	Los autores desarrollaron la estructura del modelo no obstante no validaron su implementación, por lo cual, no es posible observar los resultados.
WITCH	Es un modelo de crecimiento óptimo intertemporal, que	Los resultados del modelo (agregado para todas las

	incorpora crecimiento endógeno e interacción de políticas entre regiones a través de teoría de juegos.	regiones) indican que los escenarios de comercio de emisiones (asignación de permisos de emisión) generan mayores pérdidas en términos de consumo, sin que se genere una mayor ganancia en términos de la reducción de emisiones.
DANTE	Modelo de Equilibrio General dinámico para la evaluación de costos de política de mitigación del cambio climático, específicamente mercado de comercio de emisiones.	En este caso, no se presentan los resultados en términos de los costos de la implementación de política, se muestra la estructura metodológica.
MEG4C	Evaluación de costos del cambio climático para Colombia	Las estimaciones de los costos del cambio climático en un escenario de no política de cambio climático como el actual, da cuenta, de los grandes riesgos a los que está expuesto el país, por lo cual hay evidencia de la necesidad urgente por acción.

1.4 Medidas para la mitigación del cambio climático – alcance global y local

Existen distintos tipos de medidas de mitigación del cambio climático, entre ellas las soluciones de mercado – escenario de comercialización de permisos o certificados de reducción de emisiones – soluciones institucionales – impuestos a la emisión en la fuente y destino, así como esquemas híbridos. En el ámbito internacional, existen algunas alternativas:

1.4.1 Protocolo de Kioto

En 1993, durante la conferencia internacional de la OECD en París se presentó la propuesta de un mercado de carbono, idea sobre la cual se desarrollaría posteriormente los mecanismos de flexibilidad establecidos en el protocolo de Kioto, como alternativa para mitigar el cambio climático. En el marco de la convención del cambio climático celebrada en Berlín, con la primera CP de 1995, con el Mandato de Berlín, *“las Partes pusieron en marcha una nueva ronda de conversaciones para decidir la adopción de compromisos más firmes y más detallados para los países industrializados. Después de dos años y medio de negociaciones intensas, se adoptó el protocolo de Kioto en la CP3*

de Kioto (Japón), el 11 de diciembre de 1997" (UNFCCC)¹⁴, en el que se establecieron acciones y compromisos que deberían ser implementadas para enfrentar la alarma del cambio climático.

En este acuerdo y su posterior ratificación por diferentes países, se estableció lo que se conoce como el Anexo I, que se refiere al conjunto de países industrializados que tienen compromisos específicos y de estricto cumplimiento para la reducción en la emisión de GEI hasta los niveles de emisión registrados en 1990 metas que debieron cumplirse para 2012, pero cuyo logro no fue posible, lo que conllevó a una ampliación del acuerdo preservando la vinculación de las partes con compromisos de reducción hasta 2020.

Parte esencial del protocolo de Kioto corresponde a la necesidad de trato diferencial a los países, que permita la equidad y eficiencia en el mercado global de emisiones. Las metas de reducción impuestas por el protocolo de Kioto implican altos costes de reconversión tecnológica en algunos casos y en otros, difíciles procesos de adaptación, por lo cual se establecieron los mecanismos de flexibilidad que permitan la consecución de los objetivos planteados a enfrentar los altos costos. Entre estos se encuentran: los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), el Comercio de Emisiones e Implementación conjunta, con los dos últimos, se tiene la posibilidad de hacer transferencias entre los países a través de títulos que certifican la reducción de emisiones de algunos GEI en zonas del mundo que no pertenecen a su jurisdicción, en determinadas condiciones y que se pueden articular con el primer mecanismo, permitiendo cumplir con los compromisos adquiridos, estos (bonos o certificados) son transados en diferentes escenarios bursátiles

Implementación Conjunta (JI): Inversión de un país en otro en propuestas de energía limpia. Se hace un trasferecia tecnológica del país inversor al receptor y el inversor recibe a cambio certificados de reducción de emisiones a un precio menor al que lo haría en su jurisdicción. Unidades de Reducción de emisiones.

Mecanismos de desarrollo limpio (MDL): El país desarrollado invierte en tecnologías de desarrollo limpio en un país en vías de desarrollo (no perteneciente al anexo I). El recorte de la contaminación derivado de esta inversión se documenta en un certificado que la compañía puede intercambiar por derechos de emisión en su país de origen o en otro de los países en los que opera. A través de este mecanismo se intercambian las Reducciones Certificadas de Emisiones (RCEs o CERs).

Comercio de Derechos de Emisión: De acuerdo a la distribución inicial de derechos de emisión y a las políticas establecidas en cada país para reducir sus niveles de emisiones, se generan excedentes o faltantes de derechos de emisión, de manera que la reasignación de mercado que se necesita se obtiene en un escenario de mercado, en el que todos los países pueden participar, según sean sus límites.

El mercado de carbono global ofrece una solución de mercado, atractiva para las naciones industrializadas sobre la base de eficiencia y flexibilidad y simultáneamente ofrece a las naciones en desarrollo una alternativa equitativa mediante la asignación de

14

Consultado en: http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/kyoto_protocol/items/3329.php Fecha de consulta: 31 de Octubre de 2010.

derechos de emisión que conlleva a permitir el alivio de pobreza e injusticia histórica. Lo que hace más atractivo el sistema de límites y comercio, que consiste en la imposición de metas de reducción a través de derechos de emisión y un mecanismo de mercado para transar tales derechos, este garantiza que se disminuyan los riesgos del cambio climático creciente por sí mismo, al contrario de otro tipo de aproximaciones como los impuestos al carbono, ya que estos no garantizan la agregación de los niveles de emisión. (Bossley y Kerry, 2010; Chichilnisky y Sheeran, 2009)

Para los países en desarrollo el principal mecanismo de participación es el desarrollo de proyectos MDL para el comercio de emisiones, que si bien son un aporte significativo, dada la creciente incertidumbre con respecto al período posterior a su vigencia 2012, resulta necesario pensar medidas que de manera voluntaria contribuyan con dos propósitos, primero dar continuidad a los objetivos del Protocolo de Kioto y segundo implementar una estrategia de desarrollo alineada con soluciones al problema del cambio climático.

Es importante señalar también se ha considerado que los principales esfuerzos deben hacerse en los países en desarrollo, dado que los costos (potencialmente) serán más bajos que en las naciones desarrolladas, no obstante, según – el Modelo Verde de la Economía Global- de la OECD, que simula el comportamiento del mercado de carbono global, se puede concluir que es más eficiente asignar más derechos a las naciones pobres para emitir, pero ese resultado ahora es visto como un concesión por caridad y no como el resultado más eficiente. (Chichilnisky y Sheeran. 2009)

1.4.2 Mercados Voluntarios de Carbono

Como mecanismo alternativo al protocolo de Kioto, hay acciones voluntarias representadas en certificados de reducción de emisiones verificadas (VERs) , en el que un creciente número de compañías ha hecho un acuerdo voluntario para reducir sus emisiones o ser carbono neutral, lo que constituye una estrategia de administración de carbono que incluye medidas como reducir el consumo de energía, incrementar la eficiencia energética y la adquisición de energía renovable; algunas empresas consideran las anteriores acciones como un manera de cumplir con la responsabilidad social empresarial frente a los consumidores o como una herramienta de marketing, *“un reporte de Climate Trust argumenta que las compañías que no toman acción sobre el cambio climático pondrían en riesgo su valor de marca, en tanto, el cambio climático sea un asunto en creciente importancia para los consumidores”* (Taiyab, 2005 Pág. 10)

Los VERs son commodities no estandarizados; estos a diferencia de CERs o ERUs no tienen los beneficios del mercado secundario de su “Valor de imagen Verde” incorporado o valor especulativo; *“los compradores por tanto tienen a pagar un precio descontado por los VERs, lo cual tienen en cuenta el riesgo regulatorio inherente”*

El funcionamiento de los mercados de comercio de emisiones, se basa, en la creación de un activo derivado cuyo subyacente corresponde a una (1) tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente; existen diferentes derechos de emisión

Tabla 1-10 Permisos o Certificados de emisión por esquema de negociación.

PERMISOS O CERTIFICADOS	ESQUEMA DE NEGOCIACION	DESCRIPCIÓN
EUA's		EU Allowance. Son permisiones de emisión correspondientes al esquema de comercio de emisión europea.
CERs	<i>Kioto</i>	Certified Emission Reduction. Certificados de reducción de emisiones las cuales se derivan de los proyectos MDL's. (Países en desarrollo)
VERs	<i>Voluntario</i>	Reducciones de emisión verificadas.
ERUs	<i>Kioto</i>	Emission Reduction Unit - Vinculados con proyectos AC's. (Países desarrollados)
RMU	<i>Kioto</i>	Removal Unit.

Fuente: Construcción propia.

En general, los certificados o permisos de emisiones tienen unas características generales que se definen en los diferentes escenarios, a saber:

1. La duración o vigencia del derecho o certificado,
2. La transferencia. Quienes pueden intercambiar dichos derechos y en cuáles mercados,
3. Y las condiciones de negociación, que estarán determinadas por la reglamentación del mercado financiero (bursátil) y las instituciones que regulen este mercado, determinaran, los escenarios de negociación y sus respectivos entes de compensación y liquidación. (Domínguez y Garcia. 2006) El protocolo de Kioto requiere para el cumplimiento de sus compromisos estableció dos sistemas de registro.
4. Asignación inicial: Los certificados o permisos pueden ser asignados como un derecho adquirido basados en las emisiones históricas, lo que se conoce como *Grandfathering* o bajo un esquema competitivo como las subastas. La elección del mecanismo de asignación inicial determina quién se apropia de los ingresos que se generan.

1.4.3 Impuestos de Carbono

Los impuestos a las emisiones del carbono son una medida que determina un costo asociado a un nivel de emisiones, bajo este esquema no se establecen límites a las emisiones, es una aproximación de precios, según Nordhaus (2007b) este impuesto al carbono “es un impuesto pigouviano dinámicamente eficiente que equilibra el costo marginal social descontado y los beneficios sociales marginales de las emisiones adicionales” (Nordhaus, 2007b. Pág. 122).

El impuesto al carbono, tiene un efecto sobre las decisiones de reducción, así, cuando los costos de reducción son mayores que el impuesto, este último es preferido. Bajo este, incrementan los recaudos del gobierno de manera directa (Parry y Pizer, 2007)

1.5 Comercio de emisiones vs Impuestos al carbono

La elección de una aproximación de mitigación por cantidades (Comercio de emisiones) o una aproximación por precio (impuestos al carbono) debe examinarse con cuidado, ya que cada una tiene unas ventajas en diferentes escenarios potenciales.

El propósito del comercio de emisiones no es extender las reducciones a través de las empresas participantes, sino identificar las reducciones de bajo costo y así minimizar el costo de reducir las emisiones” (Point Carbon, 2011. pág. 11)

Iniciando por los impuestos, estos requieren una autoridad para coordinar su funcionamiento, deben ajustarse con los ciclos económicos, por tanto, su impacto no es constante y además deben ser progresivos según el nivel de ingresos (CEAG, 2010) pero son elementos que no son fáciles de conseguir y menos teniendo en cuenta las características del problema del cambio climático y las emisiones señaladas previamente en cuanto a la globalidad de los efectos.

Lo que hace más atractivo los sistemas de comercio de emisión es que estos garantizan que se disminuyan los riesgos del cambio climático creciente por sí mismo al contrario de otro tipo de aproximaciones como los impuestos al carbono, ya que estos no garantizan la agregación de los niveles de emisión (Chichilinsky, 2009)

La cantidad total de emisiones de carbono es predecible: el costo de reducir las emisiones al nivel específico, el cual es capturado por los permisos de emisión y que se determina en el mercado (interacción de oferta y demanda) contrastando con los impuestos al carbono, en el cual el costo de contaminar está dado por el impuesto el cual es conocido con certeza, pero la cantidad de contaminación no puede ser predecible. Así, si reducir una tonelada de carbono tiene un costo menor que el impuesto de emitir una tonelada, los emisores reducirán sus emisiones. Aunque si bien es cierto, el impuesto genera una distorsión que conduce a una reducción de emisiones que no se puede garantizar que se reduzca en la misma proporción que se requiere y garantiza el esquema de comercio de emisiones.

Autores como Canes (2006) han señalado que si la obligatoriedad de la reducción de emisiones fuera asumida necesaria, la medida política para llevarla a cabo sería a través de un impuesto de carbono, cita a Nordhaus (2005) quien argumentó que las pérdidas económicas generadas por un impuesto podrían ser recuperadas si los ingresos se usaran para reducir otros impuestos, que generen pérdidas similares, mientras que en el caso del sistema *de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos*¹⁵ las pérdidas no serían recuperables, si los permisos no son vendidos (subastados) sino entregados libremente (Grandfathering), adicionalmente señala que

¹⁵ Cap and trade system

CyT impone costos que resultarían en precios volátiles, por lo cual, resultaría más viable un impuesto al carbono, no obstante, considerando algunas políticas como promoción de energías limpias y desarrollo e investigación, que conllevan reducciones, sin la imposición de costos económicos, por lo cual, sin el establecimiento de un sistema mandatorio de reducciones, las iniciativas voluntarias son más efectivas. Adicionalmente resalta que las restricciones sobre las emisiones, dado que imponen costos muy altos sobre los niveles de producción, en términos del alto costo de la sustitución de capital requerida, debe considerarse que el propio crecimiento económico genera una demanda energética que genera emisiones.

Hay normalmente mayor eficiencia – menor costo por tonelada- asociado a programas en la fuente porque ellos virtualmente abarcan todas las fuentes de emisión con la mínima carga administrativa, por tanto, maximizan las oportunidades de mitigación de bajo costo. Los impuestos al carbono son preferidos, contrario al esquema de comercio, cuando los permisos son entregados de manera gratuita basados en emisiones históricas

Existen diferentes experiencias sobre el desarrollo de esquemas de comercio de emisiones, en Estados Unidos (Canes, 2006. Stavins, 2008), Nueva Zelanda, Australia, Japón, Canadá, Corea del Sur, China, Brazil, India, México, Suráfrica, Rusia y Ucrania (Point Carbon, 2011) y países asiáticos.

1.5.1 Programas de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos- casos-

ESTADOS UNIDOS

De la discusión introducida por Nordhaus y Stern, en cuánto a los costos económicos de la mitigación del cambio climático, en Estados Unidos este ha sido uno de los puntos más importantes en discusión para la adopción de políticas de mitigación; hay un línea que considera importante imponer límites a la emisión de GEI's como los impuestos en Kioto, principalmente, originadas por el uso de combustibles fósiles mientras que de otra parte, hay quienes consideran que tales limites generan un efecto económico adverso sobre el crecimiento económico, sin que genere un verdadero impacto sobre el clima, en especial por la incertidumbre científica al respecto, que no permite diferenciar apropiadamente los efectos antrópicos y la variabilidad natural del clima. En Estados Unidos se han orientado los recursos a la investigación, desarrollo y promoción de tecnologías para reducir los GEI's, antes que imponer límites, desde el sector público y privado para fomentar tales reducciones y cumplir con algunos acuerdos multilaterales como el correspondiente Asia Pacific Partnership on Clean Development and Climate.¹⁶ (Canes, 2006)

¹⁶ Asia Pacific Partnership on Clean Development and Climate, consiste en un acuerdo multilateral de siete países (Australia, Canada, China, India, Japón, Corea y Estados Unidos) fue un acuerdo que concluyó en 2011, cuyo propósito era acelerar el desarrollo e implementación de tecnologías limpias. Así mismo existe un compromiso para la transformación tecnológica en la producción de energía que promueva el crecimiento económico al tiempo que se logre reducciones significativas en la intensidad de Gases Efecto Invernadero; no obstante esta iniciativa complementa pero no

De otro lado, en el mercado de Norte América, la política de cambio climático ha sido direccionada a una política federal, especialmente, con relación al programa de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos que se desarrolla en California.

En Estados Unidos se han desarrollado iniciativas como The Chicago Climate Exchange y el programa Iniciativa Regional de Gases Efecto Invernadero -RGGI – (por sus siglas en Ingles) como mecanismos al margen del protocolo de Kioto cuyo propósito fundamental es la mitigación del cambio climático y que en algunos casos corresponden estrictamente a iniciativas voluntarias, aunque existen otras como el programa de comercio de emisiones en California que responde a la normatividad establecida en el Estado.

Así como señalaron Stern (2006) y Nordhaus (2007) las alternativas de mitigación del cambio climático tienen unos costos asociados, y este ha sido, el aspecto más importante que se ha considerado, sobre todo con relación a los costos económicos, dado que esto puede impactar en otros objetivos de política pública como salud y bienestar, defensa e incluso otras políticas ambientales (Canes, 2006)

Las iniciativas voluntarias en Estados Unidos consisten principalmente en la inversión en la investigación en cambio climático, la cual está orientada a lograr -eficiencia energética- formas de producción de energía bajas en carbono, alta captura de CO₂ y emisiones de Metano, y pocas emisiones de fuentes no fósiles, lo cual ha derivado en nuevas tecnologías, importantes en la estrategia de reducción de la intensidad de GEI pero se complementan con alternativas de mercado para el comercio de derechos de emisión y certificados de reducción.

Canes (2006) resalta que deben considerarse cifras importantes, como la relación de emisiones frente al PIB y en ese orden de ideas señala que las cifras en Estados Unidos, indican que se ha reducido la intensidad de GEI en el PIB de una manera significativa, así según el Departamento de Energía, entre 1990 y 2004 la intensidad de CO₂ se ha reducido en un 21%.

La oferta de combustibles fósiles es del 85% del total del uso de energía; la energía renovable es insuficiente ante los requerimientos de energía de una economía como la de EE.UU.; de manera que aunque incrementa la producción de ese tipo de energía, el continuo crecimiento económico demanda más energía.

Canes (2006) señala como políticas para acelerar la reducción en la intensidad de GEI:

- Fuertes incentivos para recuperar el capital inducirá a las firmas a recoger su stock de capital a una tasa más rápida, resultando en una más rápida adopción de tecnologías energéticas eficientes y una más rápida tasa de reducciones de emisiones por unidad de producto.

reemplaza el Protocolo de Kyoto, más aun considerando que del grupo de países algunos no se han adherido al protocolo.

- Se deben verificar y contabilizar los resultados de las acciones federales, para impulsar más a aquellos que generan mayores resultados verificables.
- Hacer publicidad sobre los resultados de algunas agencias, puede generar un promoción de los programas en otras entidades y agencias, de manera que las reducciones sean mayores en el sector público.

Señala Stavins (2008) que en la literatura sobre las alternativas de los instrumentos de política entre en un esquema *de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos*¹⁷ y los impuestos de carbono, la primera, sería la mejor alternativa, en el corto y mediano plazo. En Estados Unidos señala que es claro que la amenaza del cambio climático, no únicamente en lo que se refiere al calentamiento global, dado que es un efecto, requiere que en la comunidad internacional se establezca un segundo paso, antes del final del primer período de compromiso del protocolo de Kioto; ante la evidencia científica que ha aumentado al tiempo que la preocupación de la gente, lo que implica mayor presión de parte de grupos que demandan atención por este tema.

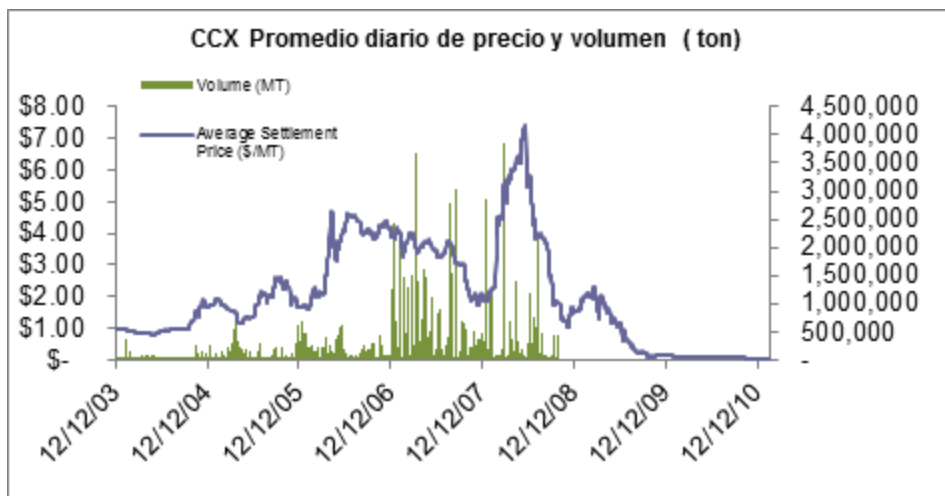
Para el caso particular de los Estados Unidos, a falta de políticas nacionales, en escalas más pequeñas se han hecho propósitos propios de reducción de emisiones de GEI, no obstante, se presentan problemas de confianza por la fracturación de políticas, lo que ha hecho que las corporaciones e individuos vean en los grupos de promoción ambiental su soporte. El punto crítico es entonces que los costos que implementar esas políticas deben ser tenidos en cuenta por quienes hacen las políticas, así la evaluación de las propuestas debe tener en cuenta que el *“diseño específico de una política afectará en gran medida su habilidad para alcanzar sus metas ambientales, sus costos y la distribución de esos costos.”* Se estima que el costo de una política (de promoción ambiental y reducción de emisiones) bien formulada esta por el orden de 10 billones de dólares al año.

Stavins (2008) señala que hay razones que justifican que en Estados Unidos se use el sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos básicamente porque provee la posibilidad de mitigar los impactos económicos a través de la distribución de los permisos de emisión, generan reducciones significativas, este sistema no debe confundirse *con créditos de reducción de emisiones o programas basados en créditos, “los cuales reportan los créditos de las reducciones de emisiones generadas que otros pueden o deben comprar para compensar sus obligaciones bajo otra política ... un programa basado en créditos podría ser usado como un medio para promover la reducción de emisiones de actividades fuera del alcance del sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos, impuestos a la emisión o política basada en estándares, pero requieren medidas (o estimaciones) de las reducciones en emisiones, las cuales, no pueden ser observadas directamente.* (Stavins, 2008. Pág. 297)

The Chicago Climate Exchange - CCX

¹⁷ Un sistema Cap and Trade es un régimen de comercio de emisiones en el cual, un límite es ubicado sobre el total de emisiones permisibles de las actividades o sectores bajo el esquema. El límite de emisiones debe ser ubicado por debajo del escenario usual de negocio - BAU—por sus siglas en inglés (Business as usual) Bossley y Kerr ,2009 Pág. 271

The Chicago Climate Exchange es el programa de reducción de emisiones más grande en Estados Unidos, inició operaciones en 2003 y operó hasta 2010 como un programa de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos voluntario, que ofrecía un componente compensatorio. Esta fue la primera iniciativa privada que reunió a un grupo importante de compañías para el intercambio de emisiones de seis GEI: CO₂, CH₄, N₂O, SH₆, PFCs e HFCs. Bajo este esquema se alcanzó un volumen importante de negociaciones como una línea base de 680 Millones de Toneladas de CO₂e. En 2010, el precio de la tonelada de CO₂e cayó a niveles por debajo USD 0.1, como consecuencia de la inactividad del mercado, derivado de la reciente crisis financiera internacional que relegó a un segundo plano las preocupaciones ambientales y por ende iniciativas que no están acompañadas de un marco regulatorio o de políticas estatales sucumben ante otros temas de alta relevancia.



Fuente: www.theice.com – Construcción propia.

Ahora bien, es importante rescatar que The Chicago Climate Exchange estableció un esquema de negociación de permisos vinculante jurídicamente para los participantes, que se clasifican en miembros, miembros asociativos, participantes miembros y participantes intercambiantes, cada uno tiene un rol específico en el esquema partiendo de aquellos que a través de sus actividades cotidianas emiten GEI (directa e indirectamente) hasta agentes cuyo propósito es servir de “*hacedores de mercado*” sin que tengan compromisos con relación a la reducción de emisiones. Este es un esquema autorregulado en el que el objetivo es bien sea anticiparse a legislación o para cumplir con las restricciones impuestas en otros países cuando las actividades que el participante desarrolla así lo demande, estos esquemas además promueven la obtención de ganancias adicionales a partir del aprovechamiento de la posibilidad de reducir las emisiones a bajos costos y así generar ganancia a partir de la venta de créditos.

El ingreso al programa requería el pago de una comisión y da el derecho de emisión por un año a partir de una línea base, como en el caso del protocolo de Kioto, lo anterior, corresponde a un contrato jurídico, por lo cual, su cumplimiento es mandatorio. La línea

base es determinada a partir del promedio de emisiones anuales, lo que supone la necesidad de tener registros o cálculos de los mismos, el compromiso consistía en reducir en una primera fase (2003 a 2006) un 4% de las emisiones sobre la línea base y en la segunda fase la reducción debía ser del 6%.

El bien negociado se denomina *instrumento financiero de carbono (CFI)* el cual representa 100 tCO₂e, son transados en una plataforma electrónica de negociación en la que se determina el precio del CFI; el cumplimiento en la entrega del certificado o permiso y la transacción monetaria, adicionalmente se ofrecían servicios como sistema de registro de inventarios de emisiones y reportes de posiciones de CFI

Los permisos eran entregados anualmente y podían ser guardados para el cumplimiento en fechas posteriores en el tiempo. Adicional a los créditos de reducción también es posible negociar CFI obtenidos a partir de proyectos de compensación que deben satisfacer un conjunto de reglas estandarizadas del CCX y que son verificadas por un tercero.

Sistema de Transacción de Emisiones de California – California ETS

California ETS es un programa desarrollado a partir de la ley de reducción de emisiones de 2006, en la que se ordenó la reducción de emisiones a los niveles de 1990 (como en el protocolo de Kioto). Para el logro del objetivo se definieron una serie de requerimientos consistentes con el levantamiento de información con respecto a los niveles de emisión objetivo, la adopción de regulaciones, la conformación de los equipos de apoyo para el desarrollo e investigación relacionados con el cambio tecnológico demandado así como la implementación de un sistema de mercado de emisiones con límites fijos; hasta 2011 se definieron las medidas de reducción hasta 2020. La administración del programa corresponde a la oficina de recursos del aire (ARB por sus siglas en inglés) de la agencia para la protección ambiental de California. Las unidades o derechos de emisión que se negocian en este mercado se denominan ARB créditos de compensación, cada uno equivale a una Mt CO₂e, los cuales deben satisfacer los criterios regulatorios del protocolo de cumplimiento de compensaciones, establecido por la entidad. Hay diferentes sectores participantes entre ellos, agricultura, transporte, agua, manejo de basuras, forestal, energía, industria, petróleo y gas, uso de la tierra y sectores de producción de alto impacto (relacionados con HFC). La ejecución del programa de fijación de límites máximos y comercio de emisiones inició en 2012.

Algunos de los participantes en ese mercado señalaron que su estrategia de cumplimiento está dada por la compra de créditos y por la reducción de emisiones propias que generen compensaciones y que el precio esperado es entre US\$10 y US\$15 dólares, precio que en las recientes subastas ha sido obtenido. Se espera para 2020 un incremento significativo en el precio, en el límite y mayor restricción a las compensaciones, según los resultados del informe Point Carbon 2011. En la encuesta participantes de este mercado señalan que han iniciado reducción de emisiones aún sin que el programa estuviera operando.

Iniciativa Regional de Gases de Efecto Invernadero - RGGI

Otra iniciativa en Estados Unidos, de carácter mandatorio, denominada como Iniciativa regional de Gas Efecto Invernadero –RGGI– (por sus siglas en inglés), la cual

inicialmente según Point Carbon (2011) con dos años de funcionamiento, no había emitido créditos de compensación, considerando que los precios eran muy bajos sin generar incentivos, no obstante, más recientemente, en 2014 implementó un programa de reducciones de 91 millones de toneladas CO₂ eq, lo cual implica una reducción de 2.5% en las emisiones entre 2015-2020.

El acuerdo regional comprende los estados de Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New York, Rhode Island, and Vermont, cuyo objetivo común es la fijación de un límite de emisiones y la reducción al 10% para 2018; como la mayoría de programas de reducción de emisiones también se tienen compromisos de soporte técnico para la evaluación de los programas de cambio y las aplicaciones de los proyectos de compensación, este acuerdo es el primero en Estados Unidos en tener carácter mandatorio, no obstante, cada Estado ha definido la reglamentación o regulación, cabe señalar que el programa está enfocado a la generación de energía eléctrica; el sistema de asignación de derechos de emisión es a través de subastas.

La iniciativa RGGI presentó un reporte en Noviembre de 2012) en el que señala los principales beneficios de la iniciativa, el más importante el impacto ambiental positivo, dado que *evitará la emisión de 12 millones de toneladas de CO₂ ... existen otros impactos positivos en las facturas de los consumidores de energía y la economía regional de energía limpia*” destaca también que entre 2009 y 2011, se logró una inversión de USD 617 millones en el futuro energético de la región, lo que ha permitido disminuir las facturas de la energía en beneficio de hogares de bajos ingresos, contribuyendo a mejorar la competitividad de las empresas y así incrementar el número de oferentes de energías limpias y renovables, así como la limitación de las emisiones en la atmósfera, mientras que estimula la creación de empleo.

Este programa tiene entonces dos escenarios de negociación, el mercado primario que corresponde a la asignación de permisos a través de subastas de precio uniforme, para lo cual, deben cumplirse una serie de condiciones establecidas en rutas de trabajo y otros documentos, publicados en la página oficial del programa, y el mercado secundario, en el que se transan los permisos de emisión por los agentes que se registran en el sistema de negociación electrónico denominado— RGGI COATS-, que además pueden ser obtenidos de otras plataformas de negociación. El programa ha realizado 17 subastas desde 2008, en las que se ha aumentado el porcentaje de asignación pasando del 82% en 2008, una caída a 65% en 2006 y en 2012 una asignación del 100%. El volumen de recursos obtenidos en las subastas asciende USD 1,081'624,938.19 por la asignación de 394'324,571 de permisos en el primer período de cumplimiento (2009-2011) y 83'930,844 para el actual período de cumplimiento (2012-2014)

El programa de comercio de emisiones de California es un mercado más grande que el del RGGI, e al igual que el EU ETS, su inicio está marcado por la asignación libre (Grandfathering) en un 90% de los CCA's (California Carbon Allowances) no obstante más recientemente ha adoptado el mecanismo de subasta para la asignación de los permisos de emisión.

El programa tiene un registro importante de resultados exitosos en los diferentes estados con respecto al desarrollo de iniciativas asociadas con eficiencia energética y energía renovable.

SISTEMA DE COMERCIO DE EMISIONES EU ETS

El sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea creado en 2005, con un objetivo de reducción de emisiones para 2020 del 21% sobre el nivel de emisiones de 2005. El cumplimiento de los objetivos de reducción sigue el principio de lograrlo al costo más bajo posible. Este esquema surgió con el objeto de ayudar a los países de la Unión Europea para cumplir con los objetivos impuestos por el protocolo de Kioto. Actualmente están adscritos 30 países, en este participan también países en desarrollo y en transición a través de los proyectos de los mecanismos de desarrollo limpio, que generan créditos que son adquiridos por las empresas participantes para el cumplimiento de sus objetivos de reducción. Es un sistema obligatorio, que ha canalizado inversión hacia una economía baja en emisiones.

El sistema ha contemplado diversas fases, por períodos de cumplimiento.

Primera Fase 2005 – 2007

El objetivo de esta fase era desarrollar el esquema y sentar las bases para el primer período de cumplimiento, con el desarrollo de la infraestructura que garantizará el adecuado control del cumplimiento de las obligaciones de los participantes. Así mismo durante este periodo se realizaron las mediciones que determinaron los objetivos de reducción o líneas base. La asignación de derechos de emisión se hizo inicialmente a través de derechos adquiridos.

Segunda fase 2008-2012

Esta fase corresponde al primer período de compromiso del programa y al mismo tiempo del protocolo de Kioto. Para el cumplimiento de los compromisos de reducción en este período eran aceptados los créditos originados en los proyectos MDL de países como Brasil y China.

Point Carbon (2011) encontró que la unión europea, los participante del sector poder e industria pesada, consideran que el EU ETS ha reducido sus emisiones, aunque la reducción total, no ha sido mayor al 10% frente a la línea base.

Uno de los problemas enfrentados por el EU ETS corresponde a la *fuga de carbono* que consiste en la reducción de emisiones que no se genera a través de créditos de carbono o derechos de emisión sino por el traslado físico de algunas empresas de sitios con restricciones a sitios donde no se encuentran tales, por lo tanto, no hay una reducción real en las emisiones sino una relocalización.

Con respecto a la fase 2 de la EU ETS se ha visto que hay una sobreoferta de EUA's, que permite el cumplimiento de las metas entre 2008-2012 y si es posible depositar cantidades importantes de estos, para el cumplimiento de las metas de la fase 3 (2013-2020), esto cambiará con la entrada en funcionamiento de las subastas de asignación.

El comportamiento de los precios de mercado ha mostrado con relación a los CERs que estos han sido transados de una manera particular, como invertido, en el que resulta más beneficioso en el largo plazo evitar el uso de los créditos hasta cuando estos lleguen a ser más baratos. (Point Carbon. 2011. Pág. 18)

Tercera fase 2013- 2020

Durante esta fase se endurecerán los límites de reducción de emisiones, dado que la cantidad de permisos se reducirá año a año, linealmente, durante el período de la fase. Asimismo, durante este período el objetivo es involucrar más a las compañías para generar reducciones dentro de la Unión Europea.

La fase tres impone una serie de restricciones, dado que se limitarán los proyectos MDL que sean registrados después de la segunda fase, dándole mayor relevancia a los provenientes de los países menos desarrollados, lo que ha desplazado la inversión de los participantes hacia ese tipo de proyectos. Asimismo se tendrán restricciones a proyectos así como tampoco se tendrán en cuenta créditos provenientes de reducciones en emisiones de HFC-23 y ácido nitroso. La restricción impuesta para la fase 3 del EU ETS tiene como barreras, la falta de marco institucional que soporte los proyectos MDL que se originen en LDC's y que en estos países las fuentes de reducción son pequeñas de manera que no es mucha la ganancia obtenida en estos proyectos a través de eficiencia. – Esto puede ser importante en el sentido que puede dar lugar a que los proyectos que generen créditos se generen dentro de la UE cerrando el mercado aún más (Point Carbon, 2011)

Otros cambios importantes para la tercera fase corresponden a la unificación de los límites de reducción, uno solo para la UE, se subastarán la mayoría de los permisos de emisión, La posibilidad de vincular el ETS a sistemas de límites máximos obligatorios de terceros países, no sólo a escala nacional, sino también regional. Anualmente, cada empresa debe entregar la cantidad de derechos de emisión correspondientes a sus emisiones anuales, los cuales son cancelados, en caso de superávit de derechos puede ser vendidos o guardados para el cumplimiento de sus obligaciones en el futuro. Sin embargo, cuando no se cumple con los derechos requeridos, se tienen una serie de sanciones, primero debe conseguir los derechos faltantes y será reportado en una lista de los infractores y deberá pagar una multa por tonelada de CO₂e emitida sin el correspondiente derecho equivalente a 100 € y el costo de la misma será creciente de acuerdo a la inflación registrada en la UE. Asimismo podrán darse sanciones adicionales en cada país sin perjuicio del cumplimiento de la señaladas previamente (Comisión Europea, 2009)

COMERCIO DE EMISIONES EN ASIA.

En Asia, también se hace evidente la preocupación por el cambio climático y sus efectos adversos en la economía, Massetti y Tavoni (2012) quienes destacan el rol del desarrollo de Asia en el contexto de las políticas del cambio climático, indican que uno de los aspectos más relevantes es la oportunidad de acción, teniendo en cuenta que *“importantes de reducción de emisiones de carbono pueden ser implementadas antes que una importante fracción de las inversiones intensivas en carbono sean realizadas, limitando a mediano plazo las posibilidades de alejarse de un sistema energético intensivo en carbono”* (Massetti y Tavoni. 2012. Pág. 1.) lo cual sería menos costoso que hacer conversiones tecnológicas en el futuro.

El papel de Asia es importante con relación a las condiciones estrictas requeridas para las metas de estabilización y distribución de asignación de emisiones, dado el rápido crecimiento económico y de las emisiones en la región, la cual contiene la mayor cantidad de población y además en condiciones de extrema pobreza, lo cual, hace que los efectos del cambio climático sean más adversos para esta población así que *“para la*

repartición de los esfuerzos globales de mitigación, es importante evaluar los niveles de compromiso regionales aceptables y diseñar instrumentos de política que faciliten ese proceso” (Masseti y Tavoni. 2012. Pág. 2.)

Los autores hacen un análisis a través del modelo de mercado de carbono – WITCH- que consideran se debería instaurar en Asia y que permitiría cumplir unos objetivos de reducción para 2050 enmarcados por eficiencia y equidad que faciliten la aceptación de política, con respecto a un modelo base de comparación del mercado global de carbono ideal y lo compara con un mercado de carbono asiático.

Los autores proponen una serie de escenarios de concentraciones de emisión (tabla 1-9) para cada alternativa, es decir, para un esquema de impuestos de carbono y los esquemas *cap and trade*

Tabla 1-11 Escenarios de concentración de emisiones para esquema de Massetti y Tavoni

NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE GEI EN PPM DE CO₂E PARA DIFERENTES ESCENARIOS DE MODELACIÓN	1a	2a	2b	2c	3a	3b
CONCENTRACIONES DE GEI EN 2100 (PPME)	942	633	521	492	563	460
MAYORES NIVELES DE CONCENTRACIONES DE GEI, 2005 - 2100 (PPME)	942	633	550	526	563	497

De los resultados de simulación se obtienen dos opciones, una que requiere una reducción interna pero con un esquema diferenciador a través de impuestos, lo que podría generar pérdidas de eficiencia y de otro lado, un sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos, que garantiza que los costos marginales de reducción se mantengan constantes, dado que este tipo de esquemas *“tiene el potencial para crear los incentivos correctos para comprometer a los países en desarrollo” (Frankel, 2008. Citado por Massetti y Tavonni)*

El buen funcionamiento del mercado de carbono requiere una sólida infraestructura que garantice la integridad de las transacciones y que provea a los participantes del mercado información confiable. Aparecen asuntos de monitoreo, reportes y verificación.

En un escenario de un mercado regional los beneficios, si bien son importantes, en todo caso, son menores a los percibidos en un escenario global, de manera que es fundamental, la interconexión entre los diferentes esquemas regionales, debe entenderse que esto solo es posible bajo ciertos acuerdos y criterios comunes que permitan hacer las transacciones de manera transparente y sencilla.

Se tiene como regla de emisión, que los permisos iniciales son asignados sobre la base de las emisiones históricas, después de una transición regular, los permisos se asignan de manera per cápita (en 2050), las principales razones por las cuales se debe establecer un mercado regional en Asia según Massetti y Tavonni se relacionan con menor competencia por oportunidades de reducción lo cual afecta positivamente el

precio, generando beneficios para el importador neto en el esquema- China- y se pueden lograr acuerdo de cooperación entre los países asiáticos, a nivel económico y tecnológico. Señalan también que se *“incrementa marginalmente el costo de la política climática en los países de la OECD, lo cual incrementa la aceptabilidad de este esquema”*

Sin embargo también hay una serie de desventajas relacionadas con la inexistencia de un marco institucional y ante la próxima entrada en vigencia de las restricciones en el EU ETS para la aceptación de proyectos MDL, en la que solo se aceptaran solo proyectos provenientes de LDC, que incluye muchos países asiáticos, lo cual requieren que el precio de los derechos de emisión sean mayores que los registrados en el EU ETS para que se generen incentivos que mantengan los permisos en el mercado regional, no obstante, dado que es un esquema de mercado, el precio se determinará por este, lo que no hay forma de garantizar que los permisos se queden en el mercado regional y no se dirijan a otro esquema.

El papel de Asia es importante con relación a las condiciones estrictas requeridas para las metas de estabilización y distribución de asignación de emisiones, dado el rápido crecimiento económico y de las emisiones en la región, la cual contiene la mayor cantidad de población y además en condiciones de extrema pobreza, lo cual, hace que los efectos del cambio climático sean más adversos para esta población así que *“para la repartición de los esfuerzos globales de mitigación, es importante evaluar los niveles de compromiso regionales aceptables y diseñar instrumentos de política que faciliten ese proceso”* (Masseti y Tavoni. 2012. Pág. 2.)

Sin embargo también hay una serie de desventajas relacionadas con la inexistencia de un marco institucional y ante la próxima entrada en vigencia de las restricciones en el EU ETS para la aceptación de proyectos MDL, en la que solo se aceptaran solo proyectos provenientes de LDC, que incluye muchos países asiáticos, lo cual requieren que el precio de los derechos de emisión sean mayores que los registrados en el EU ETS para que se generen incentivos que mantengan los permisos en el mercado regional, no obstante, dado que es un esquema de mercado, el precio se determinará por este, lo que no hay forma de garantizar que los permisos se queden en el mercado regional y no se dirijan a otro esquema.

Hay planes de esquemas de comercio domésticos en Japón, Corea, Australia y a nivel provincial en China. En China, el plan a cinco años incluye el comercio de carbono como un instrumento clave en el control de emisiones de ese país. Fuera del esquema de Kioto y dados los pocos avances con relación al desarrollo de un marco global, de manera independiente, se ha evidenciado que los países han pensado el desarrollo de una política más amplia y participativa que Kioto.

New Zeland ETS: Efectos en nuevos sectores.

De acuerdo con la información disponible en la página web *Climate Change Information* del ministerio de ambiente de Nueva Zelanda, en su esquema de comercio de emisiones, en pro del cumplimiento de las obligaciones internacionales sobre cambio climático, la inclusión de más sectores creó un mercado interno de carbono más activo desde mediados de 2010. (Sectores: Forestal, combustibles, industria, energía, transporte y manufactura) aunque la percepción de la mayoría de los participantes consultados en

ese mercado señalan que el mismo no ha causado reducciones (47%) y de otro lado, otras compañías tienen planes de reducirlas como consecuencia del esquema de comercio.

De otro lado, se debe anotar que el mercado es muy nuevo, se inició dos años después del lanzamiento del esquema europeo. Como regla general, los emisores en el NZ ETS necesitan comprar NZU's de ofertantes domésticos o unidades Kioto (CERs and ERUs) del extranjero para cubrir sus emisiones cada año. Sin embargo, emisión intensiva, el comercio expuesto (EITE) las compañías pueden solicitar NZU's de forma gratuita

Las iniciativas de fijación de límites y comercio de emisiones, se han vuelto crecientes, actualmente, Australia, Japón, Canadá, Corea del Sur, China, Brazil, India, México, Suráfrica, Rusia y Ucrania, tienen a nivel nacional una obligación de tipo de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos.

Para Parry y Pizer (2007) El comercio de emisiones requiere instituciones que funcionen efectivamente, como el escenario de negociación y que ofrezca precios del mismo ahora y en el futuro; la experiencia ha mostrado que las mismas son rápidas y en gran parte baratas, por ejemplo, el programa de comercio de emisiones SO_2 ; aunque se ha visto que inicialmente hay mucha volatilidad.

Del funcionamiento de los esquemas descritos se han identificado algunos problemas que hacen menos eficientes a los diferentes esquemas, entre ellos, la asignación de permisos vía emisiones históricas y la caducidad de los derechos de emisión.

Los Sistemas Híbridos son la solución al problema asociado a la caducidad de los derechos de emisión, el cual, puede ser solucionado a través de una válvula de seguridad y permitiendo el uso en el tiempo de los permisos de emisión que se hayan guardado, sin embargo, aun cuando las estrategias individuales son importantes, hay que reconocer que el comercio de emisiones tiene su mayor potencial de reducción de GEI cuando los grandes mercados estén vinculados.

Frente al problema de los ingresos no percibidos en un sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos, diferentes autores como (Poner nombres de todos), el uso de subastas de asignación se ha configurado como la alternativa que garantiza la recolección de los ingresos y disminuir los problemas que genera la asignación histórica, la cual, asigna rentas a quienes han emitido más en el tiempo.

1.5.2 Impuestos de Carbono – Casos (Sumner, Bird y Smith, 2009)

Impuesto al Carbono en los países nórdicos

En los países nórdicos se dio la introducción de este tipo de impuestos durante los años 90, así Finlandia, Noruega, Suecia, Dinamarca y los países bajos, incluyeron en sus esquemas tributarios impuestos al Carbono.

Finlandia incorporó los impuestos al Carbono, en 1990, inicialmente el impuesto estuvo orientado a los combustibles fósiles (gasolina, diesel, etc) exclusivamente sobre el contenido de carbono, sin embargo, posteriormente se hizo una modificación, para modificar la participación con respecto al componente energético. De acuerdo a las estimaciones del gobierno finlandés, durante el período de aplicación se logró una reducción importante en los niveles de emisiones frente al escenario base sin impuesto.

En 1991 en Suecia, dentro del esquema tributario fue introducido el impuesto al carbono, reduciendo los impuestos sobre el consumo de energía, cuya principal fuente corresponde a combustibles fósiles.

Para el caso sueco, uno de los principales resultados de la introducción de tal impuesto, fue el cambio en el uso de biomasa para los sistemas de calentamiento, es decir, sustitución de fuentes fósiles. Asimismo, se encontró una disminución en los niveles de emisiones de GEI.

En Dinamarca, los impuestos al carbono, recaen sobre combustibles fósiles, que a su vez están gravados por impuestos energéticos; la recaudación es distribuida entre subsidios ambientales (40%) y devolución al sector industrial (60%).

Reino Unido

El impuesto entro en vigencia en 2001, y se implementó para fomentar mayor eficiencia energética y la reducción de emisiones, este impuesto se introdujo en un esquema de neutralidad tributaria, no obstante, para 2006-2007, no se había logrado el objetivo.

Boulder- Colorado

Después de una consulta, esta ciudad adoptó un impuesto al carbono que empezó a regir en 2007, la base tributaria es el uso de electricidad (kilovatio por hora) diferenciando la tarifa en los hogares, usos comerciales o industriales. Así cómo en el caso del Reino Unido, los objetivos de este impuesto son reducción de emisiones, particularmente frente a los niveles de 1990.

Quebec y British Columbia, Canadá.

Las dos ciudades canadienses introdujeron impuestos al carbono, en el caso de Quebec, sobre los combustibles fósiles, como parte de su plan de acción frente al cambio climático, que ha definido un conjunto de acciones y metas, para períodos de tiempo específicos. En el caso de British Columbia, el programa sigue un esquema de neutralidad tributaria, y se aplica a combustibles fósiles usados en el transporte y en la industria

2. Modelo para la evaluación de política de cambio climático en Colombia

“El cambio climático es un desafío para el desarrollo económico y la inversión. Ofrece una oportunidad para la transformación económica y social... Es por ello que abordar el cambio climático es un pilar para la agenda de desarrollo” (Banco Mundial, 2009)

Los encuentros internacionales sobre acción frente al cambio climático y los resultados de los modelos globales de cambio climático han subrayado el papel preponderante de los países en desarrollo, principalmente en mitigación, es por esto que sumado a las alarmas generadas por la investigación sobre cambio climático y sobre la cual se han erigido políticas de estabilización, es importante considerar los efectos que tiene para una economía en desarrollo como Colombia la implementación de políticas de mitigación de GEI.

Si bien es cierto que el problema del cambio climático es global en causas y consecuencias, también es cierto que las políticas locales contribuyen a la mitigación del mismo, y en los países en desarrollo se convierte en una oportunidad y necesidad que debe considerarse al definir las estrategias de desarrollo y en las que las iniciativas privadas resultan complementarias.

El Banco Mundial en el informe para el desarrollo mundial (2010) señala que el mayor impacto del cambio climático es (y será) asumido por los países en desarrollo que además deben aliviar otros problemas como la pobreza y promover el crecimiento económico, ambos, pueden verse altamente afectados por los riesgos del cambio climático, por lo cual proponen un acuerdo común, que a través de la cooperación internacional permita mejorar la eficiencia energética, desarrollar e implantar tecnologías limpias e incrementar el área de sumideros naturales.

Considerando los impactos del cambio climático señalados previamente, cada vez se hace más evidente la urgente necesidad de establecer mecanismos de mitigación, ya que de acuerdo con el Banco Mundial (2010) el crecimiento económico por sí solo no es capaz de contrarrestar los efectos del cambio climático, en particular, en el creciente calentamiento mundial y la intensidad del carbono; para ello se requiere acción ahora, de común acuerdo y de manera diferente, es decir, con planificación flexible y gestión de largo plazo y gran escala.

El desarrollo en países como China e India, entre otros, está altamente vinculado con la dependencia de combustibles fósiles que incrementa las emisiones de GEI, pero se justifica en que es inevitable esa dependencia si se siguen las pautas de los países de alto ingreso hoy, no obstante *“la dependencia de combustibles fósiles no puede*

calificarse como inevitable dados los pocos esfuerzos realizados para encontrar soluciones alternativas” (Banco Mundial, 2010. Pág. 4)

De acuerdo con los resultados de los modelos presentados previamente, el cambio climático es costoso, bajo cualquier opción de política, pero posponer la mitigación generará mayores costos de adaptación; la decisión es compleja considerando la incertidumbre alrededor del cambio climático en sus efectos así como de los tiempos de desarrollo de tecnologías bajo intensivas en carbono y aún más si se considera el problema de distribución intrageneracional.

“Según las estimaciones, los costos de mitigación sumarán entre US\$4 billones y US\$25 billones a lo largo del próximo siglo, lo que significa que las pérdidas implicadas por esos retrasos son tan enormes que los países de ingreso alto empeñados en limitar el peligro cambio climático conseguirían claros beneficios económicos financiando iniciativas tempranas en los países en desarrollo” (Banco Mundial. 2010. Pág. 14)

El gobierno, que en últimas es quién debe asumir la responsabilidad de los desastres ocasionados por el cambio climático, debe promover políticas de mitigación del cambio climáticas alineadas con las políticas de desarrollo, que dé lugar a un acceso a mercados con menores restricciones y mayor acceso a información confiable sobre el clima para los países pobres, lo que permitirá que se reduzcan las oscilaciones en los precios de los alimentos.

Son diferentes áreas en las que se debe buscar mayor eficiencia y productividad como la agricultura. Si bien las inversiones requeridas son altas, y siguiendo lo establecido en el protocolo de Kioto, los países de alto ingreso deben financiar y hacer transferencias tecnológicas a los países en desarrollo, ante las limitantes de estos mecanismos de transferencia directa, los mecanismos de compensación, se convierte en una fuente importante de recursos: transparente, eficiente y equitativa.

No obstante, la ausencia del apoyo de los países de alto ingreso no debe convertirse en un freno para la acción, teniendo en cuenta los riesgos señalados anteriormente.

El financiamiento adicional es prioritario para *“la adaptación y mecanismos innovadores como la subasta de la unidades de la cantidad atribuida (máximos vinculantes que los países aceptan en el marco de UNFCCC), el gravamen de las emisiones del transporte internacional y un impuesto mundial sobre el carbono podrían recaudar decenas de miles de millones de dólares de nuevo financiamiento cada año”*. (Banco Mundial, 2010. Pág. 16) Ahora bien esta propuesta tiene serios inconvenientes con relación a los escenarios y las autoridades que tendrían que diseñar los mecanismos de recaudo y otros problemas que se discuten previamente en torno a la legitimidad y autoridad que se requerirían a nivel mundial.

Dados esos problemas de legitimidad, y ante la necesidad urgente de acción, las estrategias voluntarias, tiene un alcance a menor escala pero con grandes beneficios para el desarrollo al poderse establecer proyectos en comunidades pequeñas y de escala local que reduzca los altos costos de transacción asociados por ejemplo a los MDL.

Los mercados voluntarios de comercio de emisiones se han vuelto más comunes y responden a la necesidad puntual de acción.

De otro lado, las medidas adoptadas por los gobiernos locales, pueden complementarse con las estrategias de desarrollo y en esto pueden dar lugar a lo que se conoce como reforma fiscal verde, cuya implementación genera beneficios de doble vía, en tanto, que genera los incentivos para que se adopten las medidas de reducción de emisiones al tiempo que se controlan los costos adicionales que esto genera aliviando las presiones sobre la industria en desarrollo.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presenta la descripción del modelo con el que se busca evaluar los costos de la implementación de una política de reducción de emisiones.

2.1 Descripción de modelo

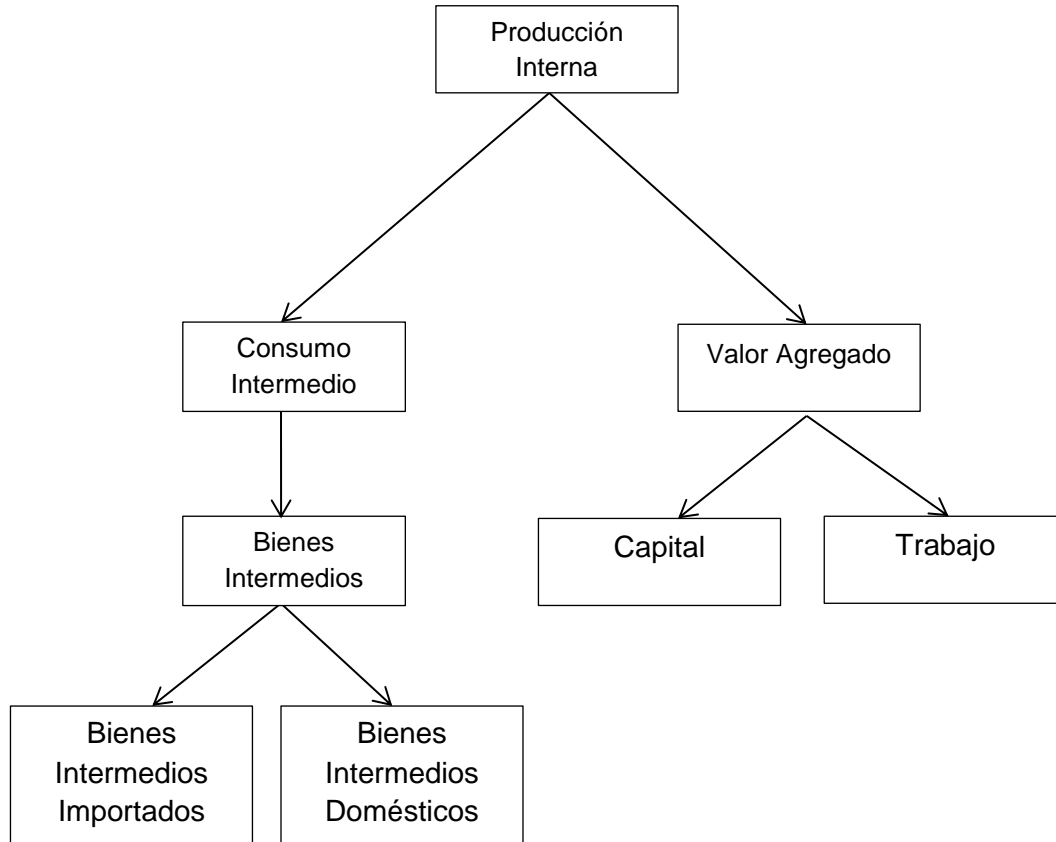
Es importante señalar que el propósito del modelo es la evaluación del costo económico de la implementación de políticas de cambio climático, por lo cual, uno de los supuestos del modelo es que un límite en la reducción de emisiones vía impuesto a las emisiones de carbono es equivalente a la introducción de un escenario de negociación de permisos de emisión. En el modelo se usa como referente la metodología usada por Gonzales (2006) para la construcción de un modelo de equilibrio general aplicado tipo Ramsey, por lo cual, se establecen algunos supuestos que se describen en cada sección del modelo, es importante señalar que para el propósito de este trabajo no se introduce dinámica en el modelo.

Es importante señalar además que a efectos de hacer el análisis más sencillo, los datos fueron reexpresados en dólares, usando la tasa de cambio promedio para 2007 publicada por el Banco de la República según los cálculos de la superintendencia financiera de Colombia.

Para resolver el modelo se utilizó el software GAMS- General Algebraic Modeling System- utilizando el lenguaje MPSGE, que permite la solución de modelos de equilibrio general utilizando una programación simplificada.

ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN - TECNOLOGÍA

La producción interna tiene dos usos: consumo interno o exportaciones. La producción sigue un esquema de producción anidada, tal que en el primer nivel, bienes intermedios y de valor agregado están combinados a través de una función de tipo Leontief; en el segundo nivel, los bienes intermedios están combinados a través de una función de tipo Leontief y los bienes con valor agregado se producen a través de una función tipo CES de trabajo y capital. En el tercer nivel, los bienes intermedios son una combinación de bienes intermedios domésticos e importados.

Figura 2-1: Estructura de producción del modelo

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y BIENES

El modelo se construye usando como input la Matriz de Contabilidad Social (MCS) para Colombia elaborada por el Departamento de Planeación Nacional con datos a 2007, la cual tiene 61 actividades de producción, que para el objetivo del modelo, han sido agregadas en 7 actividades más el resto del mundo, ver (anexo B).

1. **Act1** – Productos Agrícolas
2. **Act2** – Carbón
3. **Act3** – Petróleo
4. **Act4** – Energía
5. **Act5** – Minerales
6. **Act6** – Industria
7. **Act7** – Resto de la economía

SALARIOS, INGRESO DE CAPITAL E INGRESO MIXTO.

En la MCS del DANE (2005) se tiene discriminado el valor agregado generado en remuneración al trabajo, al capital y en ingreso mixto, con relación a este último, Céspedes (2011) hizo la descomposición del ingreso mixto usando la metodología de Daza y Franco (2009) y define unas participaciones para la asignación del componente

del ingreso mixto correspondiente a trabajo y capital, la cuales son usadas en este trabajo para reexpresar la información correspondiente a la utilización de factores para clasificarlos en trabajo y capital únicamente. El número de actividades productivas en la MSC usada por Céspedes (2011) base 2000 difiere con la utilizada en este documento, base 2005, por lo cual, se utilizan las participaciones de sectores relacionados, como se muestra a continuación:

Tabla 2-1 Ponderación capital y trabajo en el ingreso mixto por sectores

	Productos de café	Otros productos agrícolas	Animales vivos, productos animales y productos de la caza	Productos de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas	Productos de la pesca, la acuicultura y servicios relacionados
Trabajo	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Capital	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Carbón mineral	Petróleo crudo, gas natural y minerales de uranio y torio	Minerales metálicos	Minerales no metálicos	Carnes y pescados
Trabajo	0.87		0.87		0.90
Capital	0.13	1.00	0.13	1.00	0.10
	Aceites y grasas animales y vegetales	Productos lácteos	Productos de molinería, almidones y sus productos	Productos de café y trilla	Azúcar y panela
Trabajo	0.90	0.90	0.90	0.83	0.90
Capital	0.10	0.10	0.10	0.17	0.10
	Cacao, chocolate y productos de confitería	Productos alimenticios n.c.p	Bebidas	Productos de tabaco	Fibras textiles naturales, hilazas e hilos; tejidos de fibras textiles, incluso afelpados
Trabajo	0.90	0.90	0.90	0.90	
Capital	0.10	0.10	0.10	0.10	1.00
	Artículos textiles, excepto prendas de vestir	Tejidos de punto y ganchillo; prendas de vestir	Curtido y preparado de cueros, productos de cuero y calzado	Productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables	Productos de papel, cartón y sus productos
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Edición, impresión y artículos análogos	Productos de la refinación del petróleo; combustible nuclear	Sustancias y productos químicos	Productos de caucho y de plástico	Productos minerales no metálicos
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Productos metalúrgicos básicos (excepto	Maquinaria y equipo	Otra maquinaria y suministro	Equipo de transporte	Muebles

	maquinaria y equipo)		eléctrico		
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Otros bienes manufacturados n.c.p.	Desperdicios y desechos	Energía eléctrica	Gas domiciliario	Agua
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Trabajos de construcción, construcción y reparación de edificaciones y servicios de arrendamiento de equipo con operario	Trabajos de construcción, construcción de obras civiles y servicios de arrendamiento de equipo con operario	Comercio	Servicios de reparación de automotores, de artículos personales y domésticos	Servicios de alojamiento, suministro de comidas y bebidas
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Servicios de transporte terrestre	Servicios de transporte por vía acuática	Servicios de transporte por vía aérea	Servicios complementarios y auxiliares al transporte	Servicios de correos y telecomunicaciones
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Servicios de intermediación financiera, de seguros y servicios conexos	Servicios inmobiliarios y de alquiler de vivienda	Servicios a las empresas excepto servicios financieros e inmobiliarios	Administración pública y defensa; dirección, administración y control del sistema de seguridad social	Servicios de enseñanza de mercado
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Servicios de enseñanza de no mercado	Servicios sociales y de salud de mercado	Servicios de alcantarillado y eliminación de desperdicios, saneamiento y otros servicios de protección del medio ambiente	Servicios de asociaciones y esparcimiento, culturales, deportivos y otros servicios de mercado	Servicios de asociaciones y esparcimiento, culturales, deportivos y otros servicios de no mercado
Trabajo					
Capital	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Servicios domésticos				
Trabajo					
Capital	1.00				

IMPUESTOS

Los impuestos en el modelo se agregan con relación a los impuestos de la MCS base 2005, para facilitar el análisis y en función del propósito del modelo descrito previamente, los grupos relevantes corresponden:

- a. **IOTP** Impuesto al valor agregado (I.V.A) y Otros impuestos en la producción.
- b. **TAR** Aranceles
- c. **DTAX** Impuestos Directos.

Es importante señalar que en el modelo se busca analizar, entre otros, el impacto de la inclusión de un impuesto de carbono, el cual, a la fecha no existe en Colombia, adicionalmente se busca ver la posibilidad de simular de los efectos potenciales de lo que en la literatura se conoce como una reforma fiscal verde: introduciendo a impuesto de carbono y simultáneamente una reducción de los impuestos existentes pertenecientes a alguno de los tres grupos.

INSTITUCIONES

La MCS original clasifica las instituciones en: Hogares, compañías financieras, compañías no financieras, gobierno e instituciones sin ánimo de lucro; en el modelo es importante solamente se usan dos categorías gobierno y Hogares que corresponde a la agregación de los grupos restantes, considerando que la interacción entre estos sectores si bien es importante, no requiere ser explicada en función del alcance del modelo.

FUNCIONAMIENTO DEL MODELO

El modelo utilizado en este documento se describe a continuación, usando una notación matemática simplificada.

Producción

La estructura de producción se define en la ecuación (1.52)

$$Y_j = f[Y_{1,j}^{ID}, \dots, Y_{i,j}^{ID}, K_i, L_i, CARB_i, tr(j); iva(j); ebi(j); lk(i)] \quad (1.52)$$

Donde Y_{ij}^D , son los bienes intermedios j usados para la producción en el sector i , L_j, K_j son el trabajo y capital utilizados en cada sector i . Lo anterior requiere una condición de beneficio cero, tal que el valor de la producción después de impuestos debe ser igual al valor de los inputs.

Consumo

El consumo de los agentes depende de las combinaciones de bienes producidos internamente ($BCD(i)$) y bienes importados ($BCM(i)$). Los hogares eligen inicialmente cuánto comprar de cada bien y luego elige la combinación de bienes importados y domésticos para satisfacer su consumo.

$$U = f[C_1, \dots, C_j; dm(i)] \quad (1.53)$$

Comercio Internacional

El comercio internacional se define bajo el supuesto de Armington, es decir, los bienes domésticos e importados son sustitutos imperfectos y de otro lado, la economía nacional toma como dados los precios mundiales.

$$Y_j^{TS} = CES[Y_j, M_j; dm(i)] \quad (1.54)$$

$$Y_j^{TD} = CES[Y_j^D, X_j; doim(i)] \quad (1.55)$$

Emisiones

El modelo asume que las emisiones de CO_2 son proporcionales al consumo doméstico de cada bien, así la relación CO_2 emisiones/consumo, mide la cantidad (expresada en toneladas) por dólar de consumo.

Las emisiones se modelan como un sector *dummy*. en este caso, entonces, se definen las emisiones por sector. Las emisiones no se incluyen directamente en la MCS, se incluyen en los bloques de producción del modelo. La fuente de emisiones, es el inventario de GEI presentado en la segunda comunicación nacional de Colombia ante la CMNUCC, que corresponde a los datos de 2004, en este caso, se proyectaron las emisiones a 2005, usando la tasa de crecimiento promedio presentada en el documento de Gonzales y Rodriguez, 1999 – “proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)”.

Para solucionar esta clase de modelos es importante tener en cuenta que se deben satisfacer las siguientes condiciones:

1. Condición de beneficio cero.
2. Condición de vaciamiento de mercado
3. Condición de equilibrio presupuestario.

El supuesto principal del modelo es que las emisiones son proporcionales a la demanda interna (usos) de productos relevantes (indistintamente del lugar de producción – doméstico o importado). En otras palabras, en el modelo (como en la mayoría de modelos climáticos y de problemas de energía) la “polución” se asume es originada por el uso de productos antes que de la producción de los mismos, desde luego, esto corresponde a una simplificación, sin embargo, esto es aceptable, en tanto que entendemos que el uso de un carro durante su vida útil es más contaminante que su producción (o importación).

En un nivel formal, comparado a los sectores productivos (actividades) que aparecen en la MCS originalmente, el modelo introduce, en aras de contabilizar las emisiones de CO_2 , un sector artificial denominado “Carbon”. Esto no es nada más que una forma diferente de reescribir la MCS original. De hecho, tal sector artificial se supone compra toda la demanda interna relevante de los bienes “contaminantes”. Usando un ejemplo numérico puede ser útil. Imaginemos un MCS inicial:

	SE	SNE	CONS	INV	NX
SE	10	5	255	50	40
SNE	100	90	100	20	-10
L	150	105			
K	80	90			
TAX	20	10			

Donde SE y SNE corresponden a los sectores energía y no-energético. Inicialmente, es útil, representar mediante el uso metafórico productos que son contaminantes frente a otros cuyo uso no. Por ejemplo, un carro y una bicicleta. La demanda interna del bien SE es:

DI(ES) = Usos intermedios domésticos + usos finales domésticos.

$$DI(ES) = 10 + 5 + 255 + 50 = 320.$$

A partir de lo anterior, se puede reescribir la MCS como:

	SE	SNE	CARBON	CONS	INV	NX
SE			320			40
SNE	100	90		100	20	-10
CARBON	10	5		255	50	
L	150	105				
K	80	90				
TAX	20	10				

La MCS es exactamente igual a la anterior, pero la creación del sector artificial (bien) CARBON facilita la contabilización de las emisiones de CO₂ este sector compra la demanda interna del sector ES (columna correspondiente) y vende esa demanda (fila correspondiente) al sector intermedio (10 + 5) y a los consumidores finales (255 + 50). Nótese que la producción total del sector (320) es el valor de la demanda interna de bienes contaminantes (Emisiones de CO₂) expresada en la moneda base. Se llamará EMISS al nivel total de emisiones de CO₂ (expresada en millones de toneladas).

EMISS/320 es la cantidad de emisiones por unidad monetaria. Sí, EMISS=32, entonces el nivel de emisiones por unidad monetaria es 0.1 (Toneladas por Unidad Monetaria)

Es bien conocido que la contaminación puede ser contrarrestada estableciendo un sistema de permisos negociables o través de la imposición de un impuesto sobre las emisiones (conocido como impuesto al carbono), en síntesis, en el primer caso quienes emiten reciben un inventario inicial de derechos de emisión y pueden intercambiarlos, por lo cual, existe un mercado para estos permisos, en el cual los precios son establecidos por la interacción de oferta y demanda de permisos mientras que en el segundo caso quienes emiten son obligados a pagar por emitir pero el precio no es un resultado de mercado sino un precio administrado que proviene de una decisión política.

El propósito de este estudio no es comparar las ventajas y desventajas de tener un sistema de permisos negociables o un impuesto de carbono, que previo se señalaron brevemente y sobre lo cual existe una amplia literatura como Parry y Pizer (2007), Wang y Gao. Et al, 2008, Grüll y Taschini (2011), MacKenzie (2012), de manera que para el propósito de este documento no se tendrán en cuenta.

Por lo anterior, es importante resaltar el doble propósito en este estudio enmarcado en un escenario de equilibrio general:

- a. Evaluar el costo puramente económico de introducir un impuesto de carbono o un sistema de permisos negociables en Colombia;
- b. Explorar la posibilidad de implementar una “reforma fiscal verde” en Colombia.

De otro lado, como es bien conocido por todos, cualquier medida (impuestos o permisos) genera un costo adicional a los productores y según sean las estructuras de mercado también a los consumidores así mismo el beneficio de estas medidas de política es la reducción de las emisiones y de la externalidad que esta genera; teniendo en cuenta lo anterior es importante precisar que el costo puramente económico es el énfasis solamente en el costo y no en la medición del beneficio.

En efecto, estimar el valor de esa externalidad subjetiva y generalizada es extremadamente complicado, virtualmente imposible. Eso es por lo que, más modestamente, este estudio solo se concentra en la medición “objetiva” de los costos impuestos en la economía por un sistema de negociación de permisos de emisión o un impuesto de carbono.

Una reforma fiscal verde puede ser entendida como la introducción de un impuesto al carbono (o un sistema de negociación de permisos de emisión) y simultáneamente reducir otros impuestos distorsionantes de manera que el ingreso fiscal (o incluso otro objetivo de política) permanezca invariable, esto podría decirse es una clase de estructura fiscal ambientalmente amigable.

IMPUESTO AL CARBONO/COMERCIO EMISIONES.

Evidentemente, el marco institucional para una medida como esta varía de país a país (como se mostró en la sección 1.7 del documento) sin embargo corresponde a un impuesto específico – uno en el cual la base es la cantidad-. En este caso, es sobre la cantidad de emisiones de CO₂, quien paga el impuesto debe pagar PCARB unidades monetarias por cada tonelada emitida; así la MCS, ahora es:

	SE	SNE	CARBON	CONS	INV	NX
SE			320			40
SNE	100	90		100	20	-10
CARBON	10	5		255	50	
L	150	105				
K	80	90				
TAX	20	10				
CTAX						20

Donde TAX corresponde al esquema convencional de impuestos y CTAX es el impuesto al carbono. Asumamos que el impuesto al carbono son 20 millones de unidades monetarias, dado que el total de emisiones corresponde a 32 millones de toneladas, una unidad de emisión tiene un costo de 0.625 unidades monetarias; sin embargo, este no es un precio de mercado sino un precio administrado, modelarlo en un marco complementario combinado MCP – por sus siglas en inglés – no es una tarea sencilla.

En el modelo de ejemplo, se asume el impuesto de carbono como un precio, a pesar de que este sea administrado por el gobierno, tal que, es ortogonal a las condiciones de vaciamiento de mercado bajo un marco MCP, en otras palabras, aunque el precio sea fijo, formalmente debe ser una variable endógena, para lograr esto, imagínese, por falta de argumento, que la única fuente de ingreso del gobierno es ese impuesto al carbono, entonces llámese a PCARB el impuesto al carbono por unidad de emisión que es pagada por los contaminantes. Así, la condición de beneficio cero para el gobierno se debe escribir como:

$$320*PSE + 32*PCARB \geq 320*PCSE \quad (1)$$

$$GOVT = PCARB*EMISS \quad (2)$$

Donde,

$$EMISS = 32*CARBON$$

$$PCARB = PCARBB$$

La ecuación (2) dice que el ingreso fiscal del gobierno (GOVT) es el producto del impuesto al carbono por unidad de emisión (PCARB; 0.625 en el ejemplo numérico) y el nivel total de emisiones (EMISS; 32).

A su vez, la ecuación (3) dice que el nivel total de emisiones es endógeno e igual a 32 en la referencia, cuando por definición el nivel de activación del sector CARBON es 1; esto es cualquier otro número cuando se da un cambio en CARBON.

El nivel de activación del sector CARBON está determinado por la condición de beneficio cero (1), la cual es escrita en *calibrated share form* (véase Bohringer, Rutherford and Wiegert, 2004) con una estructura de tipo leontief (impuestos de carbono y demanda son bienes perfectamente complementarios) Finalmente la ecuación (4) dice que PCARB es fijo a nivel político. Así, desde una perspectiva formal la ecuación (1) determina (es ortogonal a) CARBON; la ecuación (2) determina (es ortogonal a) GOVT; la ecuación (3) es una condición de vaciamiento de mercado – lo cual resulta ser lo más difícil de comprender – en efecto EMISS es una dotación (endógena) del gobierno, como se observa en la ecuación (2) y constituye la “oferta” de emisiones; así la expresión del lado derecho de la ecuación constituye la aplicación del lema de Shepard a condición de beneficio (1) y como tal representa la demanda (óptima) de emisiones expresada por el sector CARBON y en consecuencia, (3) determina PCARB.

Finalmente la ecuación (4) que corresponde a una restricción presupuestaria, es una relación auxiliar que ajusta endógenamente la oferta de emisiones en una manera en la cual su precio PCARB permanece fijo en el nivel PCARBB determinado políticamente. Así, la oferta de emisiones – EMISS – disminuye (incrementa), su precio PCARB crece (disminuye) y entonces para el sector que emite es óptimo producir menos (más).

DESEMPLEO

Determinando el costo de introducir cualquier medida de política así como las consecuencias de una reforma fiscal verde, necesariamente implica considerar la existencia de desempleo. Incluir desempleo en un modelo de equilibrio general (CGE) no es sencillo y se debe aclarar las razones por las cuales no se vacía el mercado laboral. En términos generales, existen dos categorías de teorías del desempleo: Neoclásica y Keynesiana. La primera comprende aquellas en las que el desempleo es explicado por el mal funcionamiento del mercado de trabajo (teoría de excluidos e incluidos; historia del salario mínimo, retrasos en la coincidencia de oferta y demanda, consideraciones de eficiencia en los salarios) mientras las últimas señalan el origen del desempleo como una deficiencia de la demanda agregada, es decir, un problema en el mercado de productos. En este modelo, se considera una visión neoclásica del desempleo, en particular, la descrita por Blanchflower y Oswald (1995) y se asume lo que ellos denominan como “curva de salarios”.

La curva de salarios propone la existencia de una relación inversa entre la tasa de variación del desempleo y la tasa de variación de los salarios reales. En su forma más simple (log-lin) se puede escribir como:

$$\ln \omega = \beta \ln u_r + z,$$

Donde ω es el salario real, u_r es la tasa de desempleo y z es una constante. β es un parámetro ≤ 0 , que representa la elasticidad del salario real con respecto a la tasa de desempleo y de acuerdo a Blanchflower y Oswald (1995), su valor es alrededor de -0.1 en un conjunto sorprendente de economías. El aspecto más interesante de la idea de la curva de salarios es, según los autores, que constituye una representación general de la mayoría de las teorías neoclásicas del desempleo. Ellos plantean una relación negativa entre el salario real y la tasa de desempleo, incluso la metáfora marxista del “ejército de reserva” se ajusta esa representación: cuando la tasa de desempleo crece rápidamente

(es decir el ejército de reserva se expande rápidamente) se debilita el poder de negociación de los trabajadores y en consecuencia, la tasa de crecimiento real de los salarios es probable que disminuya.

PARAMETROS DEL MODELO

A partir de la estructura del modelo presentada anteriormente se requiere la inclusión de parámetros tales como elasticidades, para definir los valores iniciales para la replicación del Benchmark (es decir, de la economía sin incluir ninguna medida de política), en función de la estructura de producción establecida se definieron algunos parámetros y otros se tomaron como referencia los valores usados en el modelo MEG4C (DNP, 2012), haciendo las equivalencias correspondientes por las diferencias en la clasificación sectorial, los valores seleccionados en el modelo MEG4C fueron calculados por Bourneaux, Nicoletti, y Oliveira-Martins (1992). (Ver Anexo C)

2.2 Resultados de la estimación.

2.2.1 Escenario con reducción de emisiones en todos los sectores

El modelo aquí propuesto se resuelve numéricamente a través de GAMS, inicialmente, se replica la economía descrita en la MCS. Posteriormente se introduce el precio asociado a la variable emisiones de Carbono y se establece el porcentaje de reducción de emisiones que se busca alcanzar con la política de cambio climático, debe tenerse en cuenta que se considera que cualquier esquema (mercado de emisiones e impuestos) son equivalentes.

La programación del modelo en GAMS¹⁸ está hecha de tal manera que los resultados de los escenarios propuestos indique las variaciones porcentuales en variables clave como PIB, Gasto del Gobierno, Consumo, Inversión, nivel de actividad por sector y demanda de factores (trabajo y capital)

Teniendo en cuenta la estructura de producción representada en la MCS (2005), a continuación se presentan los resultados de la introducción de políticas de reducción de emisiones orientadas a disminuir las emisiones de GEI, bajo los siguientes escenarios:

RE1 – Reducción de emisiones al 1%

RE2 – Reducción de emisiones al 5%

RE3 – Reducción de emisiones al 10%

Tabla 2-2 Resultados de la implementación de política en variables agregadas

¹⁸ General Algebraic Modeling System- utilizando el lenguaje MPSGE, que permite la solución de modelos de equilibrio general utilizando una programación simplificada

ESCENARIO	PIB a costo de Factores	Gasto Real Gobierno	Consumo Hogares	Inversión Agregada
RE1	-2.834%	20.022%	-2.549%	-2.615%
RE2	-19.765%	128.067%	-17.791%	-18.726%
RE3	-36.318%	211.420%	-32.696%	-34.571%

La introducción de políticas de reducción de emisiones genera impactos adversos en la economía colombiana, en un escenario de reducciones mínimo, la contracción de PIB sería del 2.6%, con similar impacto en el consumo y la inversión agregada. El gasto del gobierno aumentaría significativamente en un escenario de reducciones del 10% (RE3) en el que se duplicaría el gasto del gobierno, esto vía transferencias a los hogares.

Tabla 2-3 Variación en nivel de actividad por sector

Variación % en Niveles de Actividad por sector	Escenario RE1	Escenario RE2	Escenario RE3
Agricultura	-1.212%	-10.082%	-25.481%
Industria	-1.203%	-9.317%	-23.464%
Minería	-2.450%	-17.596%	-31.039%
Carbón	3.667%	20.224%	35.274%
Energía	-1.004%	-4.950%	-9.839%
Petróleo	0.223%	5.942%	15.558%
Otros Sectores	-0.479%	-4.536%	-9.592%

De otro lado, encontramos que la reducción en el nivel de actividad, es más sensible en el caso de sectores como minería, industria y agricultura, aunque se presenta un efecto positivo en el sector Carbón y Petróleo, en los escenarios RE1 y RE2.

Tabla 2-4 Variación demanda de factores

Variación % en Demanda de Factores (L, K)	Escenario RE1	Escenario RE2	Escenario RE3
Agricultura	-1.366%	-11.200%	-27.378%
	-0.208%	-2.110%	-10.323%
Industria	-1.773%	-13.501%	-30.696%
	-0.620%	-4.647%	-14.421%
Minería	-3.213%	-22.756%	-39.883%
	-2.007%	-14.849%	-25.764%
Carbón	2.675%	11.013%	14.045%
	3.880%	22.376%	40.829%
Energía	-1.964%	-12.330%	-24.176%
	-0.814%	-3.356%	-6.369%
Petróleo	-0.862%	-3.244%	-4.963%
	0.301%	6.660%	17.357%

Otros Sectores	-1.165%	-9.808%	-19.819%
	-0.005%	-0.576%	-0.988%

En correspondencia con lo que ocurre en los niveles de actividad, la demanda de factores de trabajo se ve reducida especialmente en cuanto a la demanda por trabajo, lo cual, aumentaría el nivel de desempleo de la economía.

Tabla 2-5 Variación exportaciones e importaciones intermedias y finales por sector

Variación % en Exportaciones, Importaciones Intermedias e Importaciones Finales	Escenario RE1	Escenario RE2	Escenario RE3
Agricultura	-2.971%	-24.139%	-48.414
	-1.862%	-9.866%	-7.665%
	-0.631%	-5.307%	-14.968%
Industria	-2.431%	-19.200%	-41.870%
	-0.757%	-6.979%	-8.559%
	-0.940%	-5.512%	-13.140%
Minería	-4.216%	-28.649%	-47.193%
	-0.540%	-4.648%	-14.569%
	-0.966%	-6.994%	-14.822%
Carbón	3.819%	21.027%	36.682%
	11.718%	50.895%	106.592%
Energía	-1.228%	-2.318%	-1.376%
	0.143%	-14.930%	-35.193%
Petróleo	1.389%	16.113%	38.563%
	3.830%	26.278%	69.268%
	-0.980%	-6.788%	-15.002%
Otros Sectores	-0.928%	-8.590%	-16.721%
	2.336%	18.541%	31.954%
	-2.129%	-15.078%	-27.612%

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

Colombia no es responsable de una parte importante de las emisiones de GEI en el mundo, no obstante, dada la alta vulnerabilidad en áreas tales como: infraestructura, disponibilidad de fuentes hídricas (-alta dependencia energética, agricultura, industria, hogares), deslizamientos (que generan desplazamientos y otros conflictos sociales), debe considerar acciones que permitan reducir la exposición al riesgo generado por el cambio climático, entre ellas, asumir un compromiso con la reducción de las emisiones.

Los resultados de los escenarios de política presentados previamente, sirven para evaluar el costo puramente económico, se observa una alta sensibilidad a medidas que limiten las emisiones (por ende, la actividad económica), en un escenario de mínima acción la reducción del PIB sería de alrededor del 2.8% y en un escenario de reducción de emisiones del 10% esta disminución sería del 36%, lo cual resulta completamente inviable considerando la urgencia en resolver otros problemas que dependen del crecimiento económico del país, de estos resultados debe tenerse en cuenta que no consideran los costos que año a año han generados fenómenos climáticos como el Niño y la Niña y otros asociados a los efectos del cambio climático.

A partir de los resultados de las simulaciones previas, es preciso señalar que la introducción de los impuestos o permisos de emisión, genera altos costos al país en términos de empleo y del PIB, por lo que, antes de fijar una reforma fiscal verde tal que los ingresos obtenidos por cualquier medida de mitigación, contribuyan a reducir otros impuestos o sea conviertan en subsidios e inversión ambiental, es necesario generar un cambio en la estructura productiva tal que la reducción de emisiones se dé por esa vía, basado en la inversión del sector privado, subsidios del gobierno y recursos de cooperación internacional y no como resultado de la imposición de políticas restrictivas, considerando que los escenarios presentados muestran la alta sensibilidad de la estructura de producción actual a ese tipo de medidas; una vez algunos cambios sean efectuados, es posible que posteriormente pueda introducirse un esquema de tributación ambiental simple y los recursos obtenidos sean invertidos en acciones que lleven a reducir la exposición en ciertas zonas del país a los efectos del cambio climático.

Ahora bien, como se señaló en el documento 3700 del consejo nacional de política económica y social de 2011- Estrategia Institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático, es fundamental el reconocimiento del cambio climático como una problemática y por tanto su integración en las estrategias y planes en el país; logrando así una potencial mayor competitividad del país frente a sus pares en el mundo.

Existe además el reconocimiento del sector empresarial, frente a la urgente necesidad de acción, según un documento publicado por la asociación nacional de industriales ANDI en 2010, un alto porcentaje de los empresarios está de acuerdo en la necesidad de acción, por lo cual, el desarrollo del país debe corresponder con una economía con baja intensidad en carbono.

En el país se ha hecho un reconocimiento de la problemática y se ha logrado un avance significativo al respecto, así como han sido importantes los ejercicios de contabilización de los costos del cambio climático, no obstante, lo que es urgente es la implementación de las estrategias y planes para una economía baja en carbono.

Actualmente, en el marco del acuerdo de paz que se está desarrollando, existe una oportunidad para priorizar e introducir tales medidas que acompañen las estrategias de inclusión y desarrollo social y económico de la población que durante décadas ha sufrido los efectos del conflicto y que además están ubicados en las áreas de mayor impacto del cambio climático.

3.2 Desarrollos futuros

Dada la sensibilidad que representa la introducción de alguna medida o política de cambio climático con el objetivo de reducir las emisiones y contribuir así a reducir el impacto de los efectos del mismo, considerando los ejercicios que se han realizado se han enfocado en los costos que genera el cambio climático o bien sobre el costo de la implementación de una política de reducción de las emisiones de GEI; sería interesante estudiar de manera conjunta estos dos aspectos, cuál sería la reducción de los costos del cambio climático en la economía dada la implementación de una política de cambio climático.

Ahora bien, el modelo desarrollado es un modelo estático, por lo cual sería interesante incorporar dinámica al modelo, que permita estudiar la evolución en el tiempo que tendría el cambio tecnológico hacia una economía baja en carbono y la posterior incorporación de una política de cambio climático, así como la medición conjunta de los efectos adversos del cambio climático, tal como los modelos HYBGED y DANTE citados previamente.

A. Anexo: Matriz Contabilidad Social del Modelo

Los valores de la matriz están expresados en millones de dólares, a partir de los valores de la matriz de contabilidad social publicada por el DANE para 2005, usando la tasa de cambio promedio publicada por el Banco de la Republica para 2005.

B. Anexo: Agregación sectores en Matriz de Contabilidad Social del Modelo

8 SECTORES EN MCS COD. 61 SECTORES DANE BASE 2005

<u>Productos Agrícolas</u>	<u>Act1</u>	<u>Productos de café</u>
		<u>Otros productos agrícolas</u>
		<u>Animales vivos, productos animales y productos de la caza</u>
		<u>Productos de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas</u>
		<u>Productos de la pesca, la acuicultura y servicios relacionados</u>
<u>Carbón</u>	<u>Act2</u>	<u>Carbón mineral</u>
<u>Petróleo</u>	<u>Act3</u>	<u>Petróleo crudo, gas natural y minerales de uranio y torio</u>
		<u>Productos de la refinación del petróleo; combustible nuclear</u>
<u>Energía</u>	<u>Act4</u>	<u>Energía eléctrica</u>
		<u>Gas domiciliario</u>
<u>Minerales</u>	<u>Act5</u>	<u>Minerales metálicos</u>
		<u>Minerales no metálicos</u>
		<u>Productos minerales no metálicos</u>
		<u>Productos metalúrgicos básicos (excepto maquinaria y equipo)</u>
<u>Industria</u>	<u>Act6</u>	<u>Carnes y pescados</u>

Aceites y grasas animales y vegetales

Productos lácteos

Productos de molinería, almidones y sus productos

Productos de café y trilla

Azúcar y panela

Cacao, chocolate y productos de confitería

Productos alimenticios N.C.P

Bebidas

Productos de tabaco

Fibras textiles naturales, hilazas e hilos; tejidos de fibras textiles, incluso afelpados

Artículos textiles, excepto prendas de vestir

Tejidos de punto y ganchillo; prendas de vestir

Curtido y preparado de cueros, productos de cuero y calzado

Productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables

Productos de papel, cartón y sus productos

Edición, impresión y artículos análogos

Sustancias y productos químicos

Productos de caucho y de plástico

Maquinaria y equipo

Otra maquinaria y suministro eléctrico

Equipo de transporte

Muebles

Otros bienes manufacturados n.c.p.

Desperdicios y desecho

Trabajos de construcción, construcción y reparación de edificaciones y servicios de arrendamiento de equipo con operario

Trabajos de construcción, construcción de obras civiles y servicios de arrendamiento de equipo con operario

Comercio

Servicios de reparación de automotores, de artículos personales y domésticos

Servicios de alojamiento, suministro de comidas y bebidas

Servicios de transporte terrestre

Servicios de transporte por vía acuática

Servicios de transporte por vía aérea

Servicios complementarios y auxiliares al transporte

Servicios de correos y telecomunicaciones

Servicios de intermediación financiera, de seguros y servicios conexos

Servicios inmobiliarios y de alquiler de vivienda

Servicios a las empresas excepto servicios financieros e inmobiliarios

Administración pública y defensa; dirección, administración y control del sistema de seguridad social

Servicios de enseñanza de mercado

Servicios de enseñanza de no mercado

Servicios sociales y de salud de mercado

Servicios de alcantarillado y eliminación de desperdicios, saneamiento y otros servicios de protección del medio ambiente

Servicios de asociaciones y esparcimiento, culturales, deportivos y otros servicios de mercado

Servicios de asociaciones y esparcimiento, culturales, deportivos y otros servicios de no mercado

Servicios domésticos

Resto del Mundo

Resto del Mundo

C. Anexo: Parámetros del modelo

Para la estimación del modelo se incluyeron los siguientes parámetros:

Elasticidades

tr(i)	Elasticidad de transformación entre exportaciones y ventas domésticas en el sector i.
iva(i)	Elasticidad de sustitución entre bienes intermedios y de valor agregado en el sector i
ebi(i)	Elasticidad de sustitución entre bienes intermedios en el sector i
lk(i)	Elasticidad de sustitución entre trabajo y capital en el sector i
doim(i,j)	Elasticidad de sustitución entre bienes intermedios domésticos e importados i en el sector j (Supuesto Armington)
ec	Elasticidad de sustitución en el consumo de los hogares.
dm(i)	Elasticidad de sustitución de consumo en los hogares entre bienes importados y domesticos para el bien i.

	tr(i)	iva (i)	ebi(i)	lk(i)	doim(i,j)
Agtra	3	0	0	0.5	3
Carbon	3.5	0	0	0.5	3.5
Petr	3.5	0	0	0.8	3.5
Ener	3.5	0	0	0.8	3.5
Min	4	0	0	0.5	4
Ind	3	0	0	0.8	3
OtrosSect	1.1	0	0	0.5	1.1

Datos en la SAM

BFD(f,i)	Factor de demanda en el Benchmark
IO(i,j)	Flujos intraindustria (Bienes Intermedios domésticos)
IIMP(j,i)	Importaciones Intermedias bien j en el sector I neto de impuestos.
TIIMP(i)	Total Importaciones bienes intermedios del sector i (neto de impuestos)
TINT(j,i)	Total bienes intermedios (domésticos + importados bruto impuestos)

FIMP(i)	Importaciones finales bien i
BEX(i)	Exportaciones de bienes i
TP(i)	Impuestos menos subsidios en la producción en el sector I
TARIF(i)	Total impuestos en bienes intermedios importados pagados por el sector i
TAR(i,j)	impuestos en importaciones del bien intermedio i en el sector j
BDS(i)	Ventas domésticas del bien i
BCD(i)	Consumo final del bien doméstico i
BCM(i)	Consumo final del bien importado i
BC(i)	Consumo final del bien i
HTC	Consumo Total de los hogares
BGC(i)	Consumo del gobierno en el bien i
GTC	Consumo total del gobierno
ISO(i)	Inversión por sector de origen
TINV	Inversión Total
HFEND(f)	Dotación de factores de los hogares
DTAX	Impuestos Directos Direct tax
NTRA	Transferencias netas del gobierno a los hogares. Corresponde a la diferencia entre las transferencias del gobierno a los hogares y los impuestos a la producción pagados por los hogares. Es un parámetro exógeno en el modelo.
sp	Propensión de ahorro de los hogares
FTRAH	Transferencias del resto del mundo a los hogares
FTRAG	Transferencias del resto del mundo al gobierno
CAD	Deficit en cuenta corriente
TSK	Oferta total de capital
BGS	Ahorro del gobierno en el Benchmark

Tasas de Impuesto

to(i)	Tasa impuesto al producto en el sector i
tob(i)	Tasa impuesto al producto en el sector i en el Benchmark
tmi(i,j)	Tasa impuesto sobre las importaciones intermedias del bien I en el sector j
tmib(i,j)	Tasa impuesto sobre las importaciones intermedias del bien I en el sector j en el Benchmark

dt Tasa de impuestos directos

Otros datos y parámetros curva salaries.

urb Tasa de desempleo en el Benchmark

alpha Parámetro escalador en la curva de salarios

beta Elasticidad de los salarios reales a la tasa de desempleo.

D. Anexo: Lista de ecuaciones

- 1.1. Función de utilidad total
- 1.2. Función de producción de las firmas
- 1.3. Maximización de beneficios del agente representativo
- 1.4. Ecuación de acumulación de capital
- 1.5. Ecuación de crecimiento del consumo
- 1.6. Ecuación de cambio tecnológico exógeno
- 1.7. Función objetivo – función de bienestar social
- 1.8. Descuento intertemporal del bienestar
- 1.9. Función de utilidad del consumo
- 1.10. Función de producción
- 1.11. Función de daños ambientales
- 1.12. Función de costos de reducción
- 1.13. Definición de consumo
- 1.14. Definición de consumo per cápita
- 1.15. Ecuación de balance de capital
- 1.16. Ecuación de emisiones
- 1.17. Restricción de recursos combustibles de carbono
- 1.18. Limitación total de recursos combustibles de carbono
- 1.19. Ecuaciones del ciclo de carbono
- 1.20. Ecuaciones del ciclo de carbono
- 1.21. Ecuaciones del ciclo de carbono
- 1.22. Relación de acumulación de GEI-incremento fuerza radiativa
- 1.23. Ecuaciones climáticas
- 1.24. Ecuaciones climáticas

- 1.25. Costo de reducción como fracción del costo de reducción con participación total
- 1.26. Función de utilidad del consumo modelo HYBGED
- 1.27. Elasticidad de sustitución intertemporal.
- 1.28. Función de producción agregada
- 1.29. Función de producción anidada
- 1.30. Función de beneficios unitaria para agregado no energético
- 1.31. Función de beneficios unitaria para agregado energético
- 1.32. Función de beneficios unitaria de la tecnología de generación de energía
- 1.33. Función de utilidad anidada intra e intertemporal
- 1.34. Función de beneficios unitaria para demanda de consumidor final de hogares
- 1.35. Función de beneficios unitaria para bienes tipo Armington.
- 1.36. Función de beneficios unitaria de formación de stock de capital
- 1.37. Función de beneficios unitaria de inversión
- 1.38. Función de beneficios unitaria de bienes tipo Armington reexpresada
- 1.39. Función de transformación
- 1.40. Consumo bien doméstico e importado.
- 1.41. Función de Utilidad
- 1.42. Ecuación de acumulación de capital
- 1.43. Función de producción
- 1.44. Función utilidad
- 1.45. Función del gobierno
- 1.46. Función Armington bienes domésticos
- 1.47. Función Armington bienes extranjeros
- 1.48. Función de trabajo
- 1.49. Función de capital
- 1.50. Ecuación de emisiones para productores

Referencias

- [1] **Ackerman, Frank** (2009) The Stern Review vs its critics: which side is less wrong.
- [2] **Banco Mundial** (2010). Informe Sobre Desarrollo Mundial. Desarrollo y Cambio Climático. Resumen. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. Washington.
- [3] **Barro, R. J.** (2004). Sala-i Martin X (2004) Economic Growth.
- [4] **Böhringer, C. y Rutherford, T. y Wiegard, W.** (2004) Computable General Equilibrium Analysis Opening a Black Box. Discussion Paper N° 03-56.
- [5] **Bossley, L. y Kerr, A.** (2009) Climate Change and Emissions Trading: What Every Business Needs to Know. 3rd Edition.
- [6] **Bosetti, V., Tavoni, M., De Cian, E., & Sgobbi, A.** (2009). The 2008 WITCH model: new model features and baseline (No. 85.2009). Nota di lavoro//Fondazione Eni Enrico Mattei: Sustainable development.
- [7] **Brundtland, G.** (1987). Nuestro Futuro Común: Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. MOPTMA, Madrid.
- [8] **Canes, M.** (2006). Alternative Policies to curb U.S. Greenhouse Gases. The Marshall Institute. Washington, D.C.
- [9] **Cano, Gustavo.** (2010). Cambio Climático de Copenhague a México. Banco de la Republica de Colombia. Cali.
- [10] **CEPAL** (2010). Cambio climático una perspectiva regional. Cumbre de la Unidad de América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- [11] **Chichilinsky, G. y Sheeran, K.** (2009) Saving Kioto. New Holland Publishers. London.
- [12] **Ciesla, W. M.** (1996). Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto (Vol. 126). Food & Agriculture Org.
- [13] **Cline, W. R.** (1992) The economist of global warming. Washington, DC: Institute for International Economics.
- [14] **Cline, W. R.** (2007). Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Peterson Institute.
- [15] **Coase, R.** (1960) The problem of the Social Cost. Journal of Law and Economics, Vol. 3 (Oct., 1960), pp. 1-44. Published by The University of Chicago Press.
- [16] **Condon, B. J., y Sinha, T.** (2013). The Role of Climate Change in Global Economic Governance. Oxford University Press.
- [17] **Departamento Nacional de Planeación –DNP** (2012) - Análisis de los Impactos Económicos del Cambio Climático para Colombia utilizando un Modelo de Equilibrio General Computable. Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible – Departamento Nacional de Planeación. Abril 2012
- [18] **Dominguez, M. y García, J.** (2006) Mercados derivados de los derechos de emisión del protocolo de kioto. ¿un nuevo mercado de futuros? Boletín Económico ICE N° 2888 del 11 al 24 de septiembre de 2006..
- [19] **Foley, D.** (2007). The economic fundamentals of global warming. October (New York, Department of Economics, New School for Social Research).
- [20] **Foley, D., Rezai, A. y Taylor, L.** (2012). Greenhouse Gas and Economic Growth. (Draft). Institute for New Economic Thinking to the Schwartz Center for Economic Policy Analysis, The New School, New York.
- [21] **González, M. Et all.** (2003) Cambio Climático mundial: Origen y consecuencias. Ciencia UANI. Vol. VI, N° 3, Julio-Septiembre.

- [22] **González, M.** (2006). DANTE: Un MEGA Dinámico para el control del cambio climático en España. Fundamentos del Análisis Económico I, Universidad del País Vasco, Bilbao, España.
- [23] **Hardin, G.** (1968). The tragedy of the commons. *science*, 162(3859), 1243-1248.
- [24] **Martínez, J.** (2011). Ecología humana y economía política. (de F. Aguilera Klink, V. Alcántara (Comp.), De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica. Fuhem e Icaria, 1994, pp.213-222). Edición Electrónica Revisada 2011.
- [25] **Masseti, E. y Tavoni, M** (2012) A developing Asia emission trading scheme (Asia ETS). *Journal Energy Economics*.
- [26] **Mendelsohn, R.** (2006) A critique of the Stern Report. *Regulation*, vol. 29, p. 42 -46.
- [27] **Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** (2010). Segunda Comunicación Nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Bogotá.
- [28] **Naredo, J.** (1992). Fundamentos de la economía ecológica. Ponencia presentada al IV Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente. Sevilla. (de F. Aguilera Klink, V. Alcántara (Comp.), De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica. Fuhem e Icaria, 1994, pp.231-252). Edición Electrónica Revisada 2011.
- [29] **Nordhaus, W.** (1992). The "Dice" Model: Background and structure of a Dynamic Integrated Climate Economy Model of the Economics of Global Warming. Cowles Foundations for research in economics. Yale University Press. New Haven.
- [30] **Nordhaus, W. y Boyer, J.** (1999). Roll the DICE Again: Economic Models of Global Warming. MTI Press. Chapter 5.
- [31] **Nordhaus, W.** (2007a). The Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*. Vol. 45, Nº 3 (Sep., 2007) pp. 686-702.
- [32] **Nordhaus, W.** (2007b). The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy. (Vol. 4). Yale University Press. New Haven.
- [33] **Nordhaus, W.** (2008). A question of balance. Weighing the options on Global Warming Policies. Yale University Press. New Haven.
- [34] **OCDE/ECLAC.** (2014) OCDE Evaluaciones del desempeño ambiental: Colombia
- [35] **Ortiz, S. V.** (2005). Marco teórico de la directiva de comercio de emisiones. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, (822), 39-50.
- [36] **Ostrom, E., Gardner, R. y Walker, J.** (2006) Rules, Games y Common-Pool resources. The University of Michigan Press.
- [37] **Ostrom, E.** (2010) Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *American Economic Review* 100 (June 2010): 641–672.
- [38] **Ostrom, E.** (2002) The Drama of the Commons. , National Research Council (U.S.). Committee on the Human Dimensions of Global Change. National Academy Press. Washington, D.C.
- [39] **Pabón, J.D.** (2003) El cambio climático en Colombia. Departamento de Geografía. Universidad Nacional de Colombia.
- [40] **Proenca, S. y Aubyn, M.** (2013). A hybrid general equilibrium dynamic model to support energy-climate policies. Lisboa, Portugal.
- [41] **Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.** (2007) Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe- Reporte de síntesis. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- [42] **Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.** (2014) Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe- Reporte de síntesis. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- [43] **Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.** (2010). El cambio climático en Colombia y en el sistema de las Naciones Unidas. Proyecto Integración de riesgos y oportunidades del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y en la programación del país de las Naciones Unidas.
- [44] **Parry, I. y Pizer, W.** (2007) Emissions Trading Versus CO₂ Taxes. BackGrounder. Resources for the future. Washington, D.C.

- [45] **Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., ... & Stievenard, M. (1999).** Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399(6735), 429-436.
- [46] **Pigou, Arthur. (1920)** The economics of welfare. MacMillan. Londres. 1920.
- [47] **Point Carbon. (2011).** Survey. Point Carbon's 7th annual conference, Carbon Market Insights 2011 in Amsterdam, 1-3 March 2011.
- [48] **Proença, S., & St Aubyn, M. (2013).** Hybrid modeling to support energy-climate policy: Effects of feed-in tariffs to promote renewable energy in Portugal. *Energy Economics*, 38, 176-185.
- [49] **Rahman, M. I. U. (2013).** Climate Change: a Theoretical Review. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 11(1), 1-13.
- [50] **Rezai, Taylor y Foley. (2010)** Global Warming and Economic Externalities. *Economic theory*. Vienna University of Economics and business.
- [51] **Rezai, Taylor y Mechler. (2013).** Ecological macroeconomics: An application to climate change. *Ecological Economics* 85. Pág. 69-76.
- [52] **Spash, C. (2007)** The economics of climate change impacts à la Stern: Novel and nuanced or rhetorically restricted? (PDF). *Ecological Economics* 63 N° 4. Pp. 706-713.
- [53] **Stavins, R. (2008).** A meaningful U.S. Cap and Trade System to Address Climate Change. *Harvard Environmental Law Review*. Vol. 32.
- [54] **Stern, N. (2006)** Stern Review: The Economics of Climate Change. Ediciones Paidós Ibérica S.A., Barcelona.
- [55] **Stern, N. (2008).** The economics of the climate change. *American Economic Review: Papers y Proceedings* 2008, 98:2, -37.
- [56] **Stern, N. (2009)** Towards a Global Green Recovery. Recommendations for immediate G20 Action. Report prepared on behalf of the German foreign office, April.
- [57] **Taiyab, N. (2005).** The Market for Voluntary Carbon Offsets: A New Tool for Sustainable Development. Gatekeeper Series. 121. Natural Resources Group at IIED. The Sustainable Agriculture and Rural Livelihoods Program.
- [58] **Tickell, O. (2009).** Kioto 2. Cómo gestionar el efecto invernadero global. Editorial Icaria. Barcelona.
- [59] **UNFCCC. (1992).** Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas.
- [60] **Weitzman, M. (2007).** The Stern Review of The Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, 2007, vol. 45, no 3, p. 703-724.

Sitios WEB

- [61] **Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.** 2010
www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosGestion/cmccc/130214_com_02_cmn_ucc_resumen_ejecutivo.
- [62] **Banco de la Republica de Colombia.** www.banrep.gov.co
- [63] **Programación de Naciones Unidas.**
http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/Brochure%20resumen%20Proyecto.pdf
- [64] **Marco de las Naciones Unidas para el cambio climático.**
http://unfccc.int/files/inc/graphics/image/jpeg/total_excl_2013t.jpg
- [65] **Asociación Nacional de Industriales. ANDI**
<http://www.andi.com.co/Archivos/file/Vicepresidencia%20Desarrollo%20Sostenible/2014/Evaluaciones%20del%20desempe%C3%B1o%20ambiental%20Colombia%20OCDE.pdf>